



FEDERACIÓN  
ARGENTINA  
de ESPELEOLOGÍA

ISSN 1851-894X

# ARGENTINA SUBTERRÁNEA 56

Publicación semestral de la Federación Argentina de Espeleología - FAde

Edición Electrónica: [www.fade.org.ar](http://www.fade.org.ar)

<https://www.facebook.com/Federaci%C3%B3n-Argentina-de-Espeleolog%C3%ADa-218199258562222/>

Números anteriores: <http://fade.org.ar/Bibliografia.html>

Malargüe, Mendoza, Argentina — Año 24 - N° 56 – diciembre de 2024

Director: Carlos Benedetto





**FEDERACIÓN  
ARGENTINA  
de ESPELEOLOGÍA**

## **ARGENTINA SUBTERRANEA ISSN 1851- 894X**

Publicación semestral digital de la  
Federación Argentina de Espeleología—FAde  
Director: Carlos Benedetto  
Año 24—Nro. 56— diciembre de 2024

Federación Argentina de Espeleología - FAde. Asociación civil de segundo grado sin fines de lucro dedicada al estudio y protección de las cavidades naturales, integrada por asociaciones espeleológicas, espeleólogos independientes e investigadores de distintas provincias argentinas. Personería Jurídica: Resolución 750/2001 - Expte. DPJ-Mendoza 1061-F/2000—Legajo 4594. CUIT: 30-70745522-1. Entidad inscripta en el Registro de Asociaciones Espeleológicas del Gobierno de la Provincia de Mendoza (Ley 5978/93): Resolución DRNR 559/02. Nro. de inscripción: 002.

### **Autoridades electas hasta el 30.4.2025:**

**Consejo Directivo:** Presidente: Carlos Benedetto - INAE - Malargüe, Mendoza; Vicepresidente: vacante; Secretaria: Lucía Marinero - BA - Godoy Cruz, Mendoza; Tesorera: Carla Nuñez—Malargüe, Mendoza; Vocales titulares: Sebastián Lozano - Independiente - Luján de Cuyo, Mendoza; José Meléndez Paredes - IN.A.E. - CABA; Juan Sebastián Marinero, BA—Mendoza; Vocales suplentes: Ivanna Bustos Independiente - Navarro, Buenos Aires Lucas Cortés - IN.A.E. - Las Lajas, Neuquén; María Alejandra López IN.A.E. - CABA

**Órgano de fiscalización:** Revisores de cuentas: Titulares: Laura Natalí Flores - Independiente - Malargüe, Mendoza; lair Berenstein - Independiente - Capilla del Monte, Córdoba. Suplente: Renzo Portioli (h) - Independiente - San Luis capital

### **Sede social y legal:**

Pje. El Payén 1035/1027 - (5613) Malargüe - Mendoza- Argentina. Celular-Whatsapp: +54 9 2604 094916.

[contacto@fade.org.ar](mailto:contacto@fade.org.ar) -[www.fade.org.ar](http://www.fade.org.ar)

<https://www.facebook.com/groups/872559679540283>

Última Asamblea Anual Ordinaria: <http://fade.org.ar/>

[Descargas/Asamblea%20FAde%202024.pdf](#)

Se permite la reproducción total o parcial de los artículos de este boletín. Rogamos citar la fuente.

## **En este número:**

**Pág. 3:** Editorial.

**Pág. 5:** Invitación a Congreso internacional UIS 2025

**Pág. 6:** Bituario. Manuel Roberto Gutiérrez Domech (Cuba). Por el Prof. Manuel Rivero Glean

**Pág. 7:** Bases de datos global de la biota acuática subterránea—Dra. Marcela Peralta

**Pág. 14:** Tapa y link Newsletter 83—Comisión de Cavidades Volcánicas de la UIS

**Pág. 15:** Importancia de formar profesionales para las investigaciones científicas en cavidades naturales—Carlos Benedetto

**Pág. 20:** Tapa versión impresa de HISTORIA DE LA ESPELEOLOGÍA ARGENTINA

**Pág. 21:** Búsqueda de indicadores de permafrost en la Caverna Las Cascadas, Las Leñas, Andes del Sur de Mendoza, Argentina: informe preliminar—Dr. Darío Trombotto Liaudat—Ivy Pecker Marcosig

**Pág. 31:** Guías para la protección de Cuevas y Karso—UIS-IUCN

**Pag. 37:** Anomia en la protección de las cavidades naturales — Carlos Benedetto

**Pág. 41:** Resumen conceptual del modelo termodinámico de desarrollo del Karst (MTDK)- Por el Ing. Leslie F. Molerio León

**Pág. 65:** Exploración de representaciones sociales sobre la Ley de Educación Ambiental Integral 27261 en Profesores de Ciencia Naturales de Buenos Aires: perspectivas e insumos en el marco de la reforma curricular—Luis Peretti, Víctor Furci, Marcela Gelvez, Oscar Trinidad

**Pág. 69:** La Espeleología y la Educación Ambiental para el desarrollo sustentable—Lic. Mónica Grinschpun

**Pág. 81:** Función y disfunción ecológica humana. Cuál es la función ecológica humana? - Sebastián Lozano

**Contratapa:** Miembros Honorarios de la FAde



## **Ilustración de tapa:**

**Exploración reciente en la Cueva del Tigre, El Palauco, Malargüe, Mendoza**

*(Foto de Gabriel Moya)*

# La Espeleología Argentina se abre camino pese a los tiempos de crisis

Carlos Benedetto



El próximo 4 de febrero la FAdE cumplirá sus primeros 25 años de vida, caracterizado por el hecho de ser la única asociación espeleológica argentina que ha mantenido tanto tiempo su vigencia jurídica. Ya lo hemos dicho varias veces, pero no viene mal repetirlo dada la mala fe con la que nos enfrentamos a veces

Quizás estemos festejando ese aniversario junto a colegas colombianos que ya están en camino para el Sur del continente, en una expedición tan ambiciosa como interesante.

Tenemos esperanza de constituir, en el futuro inmediato, delegaciones en las provincias de San Juan (donde planeamos dar una capacitación junto a los colegas visitantes) y La Pampa. No damos más detalles por el momento.

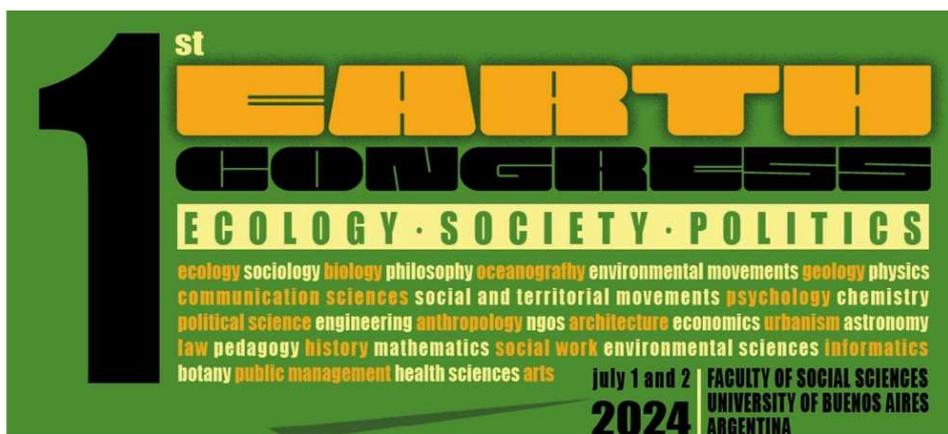
En esta segunda mitad de año 2024 hay avances no tanto cuantitativos como cualitativos, por todo lo que alcanzamos a relatar: Por un lado, la Reserva Natural Pri-

vas de basalto en contacto con al menos una caverna en caliza en la zona de amortiguación del Área Protegida La Payunia, donde hace 20 años se detectó la probable existencia de tubos lávicos de decenas de kilómetros de extensión, aún no relevados espeleológicamente.

En los últimos días del año se estaba tomando contacto nuevamente con parte del equipo científico italo-argentino que había participado del descubrimiento, para atraerlo hacia la FAdE, para acercarlo a la Comisión de Cuevas Volcánicas de la UIS y comprometerlo a la realización del Simposio 2028, obviamente no en la provincia de Mendoza, donde oficialmente ya nada parece ser posible.

En el caso de La Pampa, el acercamiento se dio por la solidaridad creada en torno al MDMO

(Malargüe Distrito Mi-nero Occidental). En este tema, la FAdE se destacó como articulador de ONGs ambientalistas



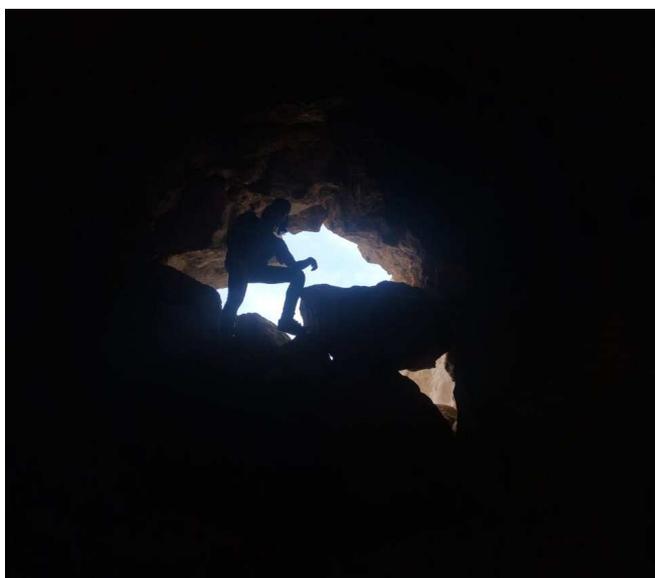
vada Cueva Doña Otilia, está en camino de convertirse en Reserva Natural Privada El Palauco, que incluye no sólo varias cavidades naturales, sino también el enfrentar a problemas ambientales epigeos muy complejos. Junto a la Fundación Vida Silvestre hemos hecho una primera aproximación a la compleja problemática de las caver-

tas de las cinco provincias del COIRCO (1) Antes, en julio se llevó a cabo el I Congreso de la Tierra en la Facultad de Ciencias Sociales de la Universidad de Buenos Aires, donde se constituyó una mesa específica (la 26) para una aproximación a las problemáticas científicas y legales específicas de la Espeleología. Las actas llegaron

a nuestras manos pocos días antes de la edición de ARG.SUB. 56 (2). En esta edición incluimos todos los trabajos de esa mesa y agregamos que fue posible armar un equipo de trabajo para continuar con el debate iniciado.

En el número anterior no pudimos publicar los resultados de la expedición de febrero a Las Cascadas, una de las cavidades en yeso cercanas al complejo turístico de las leñas y cercanas a glaciares, pero planteamos el riesgo que corren por proyectos mineros sobre los cuales venimos posteando informes y denuncias ([www.fade.org.ar/proyectos/extractivismo](http://www.fade.org.ar/proyectos/extractivismo))(3).

En junio no nos fue posible participar del simpo-



**Cueva del Jote, antes llamada “del Borne”. La Imagen está hecha desde el supuesto comedero de un puma. La cantidad y variedad de huesos es indicadora de la variedad de la fauna epigea. La cueva formará parte del proyecto El Palauco**  
Foto de Darío Ramírez

sio de rescate en cuevas en Cantabria, España, pero la Comisión respectiva de la UIS pidió a la Dr. Ivanna Bustos, autora del programa ASeS - Asistencia Sanitaria en Espeleología, para que sea árbitro de los trabajos específicos a publicar en el XIX Congreso Internacional de la UIS, Belo Horizonte, Brasil, julio de 2025. La comisión también envió un informe del simposio en España que publicamos en nuestra web (4).

En septiembre pudimos presentar el libro Historia de la Espeleología Argentina en el Congreso Regional de Impacto y Protección Ambiental (CRIPA) en la ciudad mendocina de Gral. Alvear, donde expusimos sobre la importancia de extender la espeleología a los basaltos de ese departamento mendocino y la provincia de La Pampa. Es posible que en 2025 daremos comienzo a algunas capacitaciones con apoyo del Consejo Deliberante de esa ciudad (5).

Al volver se llevaban a cabo dos campañas a la zona de Payunia, para un relevamiento previo a la consideración si se convierte o no a la reserva natural privada Cueva Doña Otilia en Reserva Natural Privada El Palauco, de alrededor de 56.000 Ha.

Para quienes siguen criticándonos por nuestra postura frente al extractivismo en la Cordillera, viene a cuento recordar que así lo mandan las recomendaciones protección de la misma UIS, que volvemos a publicar en este número. Pero no dejamos de señalar que el congreso de la UIS en 2025 estará patrocinado principalmente por la empresa minera VALE. Pareciera ser que la Espeleología debería convivir mucho tiempo más con estas contradicciones (6). La Espeleología argentina viene lidiando con eso desde, al menos, el año 2007.

#### Referencias:

- 1: <http://fade.smartnec.com/images/prod/UdT7p7OKSUZ6e4nsOeUMdscszpvNjZ.pdf>
- 2: <https://lunacyc.org/congresos/>
- 3: <https://marcelosapunar.com/2024/12/23/tension-interprovincial-por-el-proyecto-minero-mdmo-por-carlos-benedetto/>
- 4: <http://fade.smartnec.com/images/prod/UdT7p7OKSUZ6e4nsOeUMdscszpvNjZ.pdf>
- 5: <https://marcelosapunar.com/2024/10/12/el-cripa-2024-le-puso-los-puntos-sobre-las-ies-al-cornejo-peronismo-por-carlos-benedetto/>
- 6: <https://www.speleo2025.org/>



## 19<sup>th</sup> INTERNATIONAL CONGRESS OF SPELEOLOGY

### 38<sup>th</sup> Brazilian Congress of Speleology

20-27 July 2025 - BELO HORIZONTE - MINAS GERAIS - BRAZIL

**THE CHEAPEST ICS IN UIS HISTORY**  
Full Registration - €100 (until January 31, 2025)

[www.speleo2025.org](http://www.speleo2025.org)

- 16 Committees and 6 Subcommittees
- 12 Symposia
- 25 Pre- and Post-Congress Excursions
- 16 Wednesday Excursions
- Photo Salon
- Cartographic Salon
- Art Salon (SpeleoArt)
- SpeleMidia
- SpeleOlympics
- UIS 60<sup>th</sup> Anniversary Party
- Michel Le Bret Awards Party
- Congress Awards Party
- UIS Awards Party
- Banquet and closing ceremony
- Printed Proceedings
- Congress bag with many souvenirs

Except for pre- and post-congress trips, which must be paid separately, all other events and benefits will be available – at no additional cost – for participants registered in the FULL CATEGORY.

For those registered in the Partial Category it is possible to purchase Wednesday Excursion (€50), the printed Proceedings (€100), and the Closing Banquet (€50) separately.

Take advantage of this exceptional opportunity. Visit the congress website and secure your registration at the lowest price.

The Brazilian hospitality and its exuberant karst in six different biomes are waiting for you and your family.

Website (for registration) - <https://www.speleo2025.org/>

#### FULL REGISTRATION FEE

Early Registration - € 100 - until January 31

Intermediate Registration - € 130 - from February 1<sup>st</sup> to March 15

Regular Registration - € 200 - from March 16 to June 30

Late Registration - € 400 - From July 1<sup>st</sup> to the congress

#### PARTIAL REGISTRATION FEE

Early Registration - € 60 - until January 31

Intermediate Registration - € 80 - from February 1<sup>st</sup> to March 15

Regular Registration - € 120 - from March 16 to June 30

Late Registration - € 240 - From July 1<sup>st</sup> to the congress



Cave of São Mateus III, Terra Ronca, São Domingos, Goiás, Included in the pre-congress program PRE-11 TERRA RONCA COMPLEX AND CAVES OF GOIÁS (GO) - Complete description of the program on page 50 of the 19<sup>th</sup> ICS Second Circular.

PHOTO JOSÉ HUMBERTO M. DE PAULA

Más información en <https://www.speleo2025.org/>

## Manuel Roberto Gutiérrez Domech 1947-2024

Investigador y pedagogo oriundo de La Habana, en Cuba. Fue conocido como un espeleólogo, explorador, estudioso y conocedor del carso en particular, y además la geología y la geografía de Cuba en general; se licenció de geógrafo en la Facultad de Geografía de la Universidad de La Habana en 1977.

### Síntesis biográfica

Nació en La Habana, Cuba, el 14 de enero de 1947. Ha laborado como micropaleontólogo (de foraminíferos) e ingeniero geólogo en el Instituto



Roberto Gutiérrez Domech con Leslie Moleiro, a su derecha

- 1: MiniGeografía de Cuba (Gutiérrez y Rivero, 1997)
- 2: Regiones naturales de la isla de Cuba (Gutiérrez y Rivero, 1999)
- 3: Cuban Nature - libro sobre la geografía de Cuba en idioma inglés- (Gutiérrez y Rivero, 2002)



Nacional de Recursos Hidráulicos, desde su Dirección de Investigaciones Aplicadas. En la actualidad, es Investigador Auxiliar y Jefe del Departamento de Paleontología y Director del Museo del Instituto de Geología y Paleontología del Ministerio de Energía y Minas de Cuba.

Es profesor Titular Adjunto de la Facultad de Ciencias Naturales del Instituto Superior Pedagógico Enrique José Varona. Fue uno de los cinco fundadores del Grupo Espeleólogo Martel, de la Sociedad Espeleológica de Cuba y Vicepresidente Primero de esta última federación de espeleólogos. También fue Fundador de la Sociedad Cubana de Geología, y ocupó su vicepresidencia. Además es miembro de Consejo de Expertos del Nuevo Atlas nacional de Cuba de 1989, y autor de varios mapas temáticos del Atlas Nacional de Cuba en su versión digital de 2019. Ha publicado más de un centenar de artículos científicos sobre las ciencias geográficas, geológicas y paleontológicas y coautor de tres libros, entre otros, sobre la geografía de Cuba:

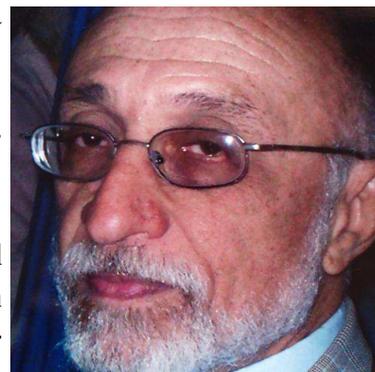
1: MiniGeografía de Cuba (Gutiérrez y Rivero, 1997)

2: Regiones naturales de la isla de Cuba (Gutiérrez y Rivero, 1999)

3: Cuban Nature - libro sobre la geografía de Cuba en idioma inglés- (Gutiérrez y Rivero, 2002)

### Palabras del

Prof. Manuel Rivero Glean  
La Habana, 22 de diciembre de 2024



# Base de datos global de la biota acuática subterránea

Dra. Marcela Alejandra Peralta  
Fundación Miguel Lillo – Tucumán  
Federación Argentina de Espeleología - FAde

En 1986 se publicó un libro denominado “Stygofauna Mundi: A faunistic, Distributional, and Ecological Synthesis of the World Fauna inhabiting Subterranean Waters (including the Marine Interstitial)”. Esta icónica publicación, editada por el Dr. Lazare Botosaneanu de la Universidad de Amsterdam, reúne en sus 740 páginas, información sobre biología y distribución de todos los taxones registrados en las aguas subterráneas del mundo: protozoos, poríferos, cnidarios, helmintos, nemátodos, equinodermos, moluscos, otros invertebrados no artrópodos, crustáceos, insectos, arácnidos, urocordados, peces y anfibios. La parte medular de esta publicación se compone de tablas donde se enumeran las especies, sus distribuciones geográficas y hábitats.

Desde 1986 hasta la actualidad se ha incrementado considerablemente el conocimiento de la biodiversidad subterránea en el mundo. Es por ello y con el objetivo de mejorar la accesibilidad a los datos de la biota acuática subterránea, es que se está trabajando en la puesta en línea de una base de datos global bajo la misma denominación que el libro mencionado, “Stygofauna Mundi: a comprehensive global biodiversity database of groundwater related habitats across marine and freshwater realms”. Esta nueva base de datos será interactiva, interoperable y abierta. Para reunir toda la información contenida allí, están colaborando 123 investigadores de 45 países (incluida Argentina), grupo liderado por el Dr. Alejandro Martínez García del Water Research Institute (IRSA), National Research Council, Verbania, Italia. Uno de los principales aportes de esta base de datos global es que, además de la nómina de especies, incluirá la distribución geográfica de las especies que incluye cuevas, pozos, manantiales y entornos intersticiales, incluidos los marinos y lagos por encima de los 10 m de profundidad. Del total de datos de procedencia, más del 80% de los registros cuentan con datos de coordenadas geográficas. Esta enorme cantidad de información que se espera publicar próximamente, permitirá mejorar la gestión y conservación de los ecosistemas de aguas subterráneas, realizar revisiones faunísticas, analizar distribuciones geográficas, incluir la biota subterránea en estudios regionales de biodiversidad, entre otros aportes. Los nombres científicos de las especies incluidas están validados a partir de bases de datos globales como Catalogue of Life, plataforma Worms-APHIA, GBIF-the Global Biodiversity Information Facility y GenBank. Cada nombre está conectado a un conjunto de metadatos que incluyen el nivel de especialización subterránea, el estilo de vida y las secuencias de ADN, en caso de que estén disponibles.

En el pasado mes de setiembre, en el 26th International Conference on Subterranean Biology - 6th International Symposium on Anchialine Ecosystems (<https://www.sibios-issb.org/index.php/conferences/>) realizado en Cagliari (Cerdeña, Italia), el Dr. Martínez García presentó esta base de datos (ver página 69 del libro de Resúmenes del congreso [https://www.abcdarkworld.com/wp-content/uploads/2024/09/26thICSB\\_6thISAE\\_Book-of-Abstract.pdf](https://www.abcdarkworld.com/wp-content/uploads/2024/09/26thICSB_6thISAE_Book-of-Abstract.pdf)).

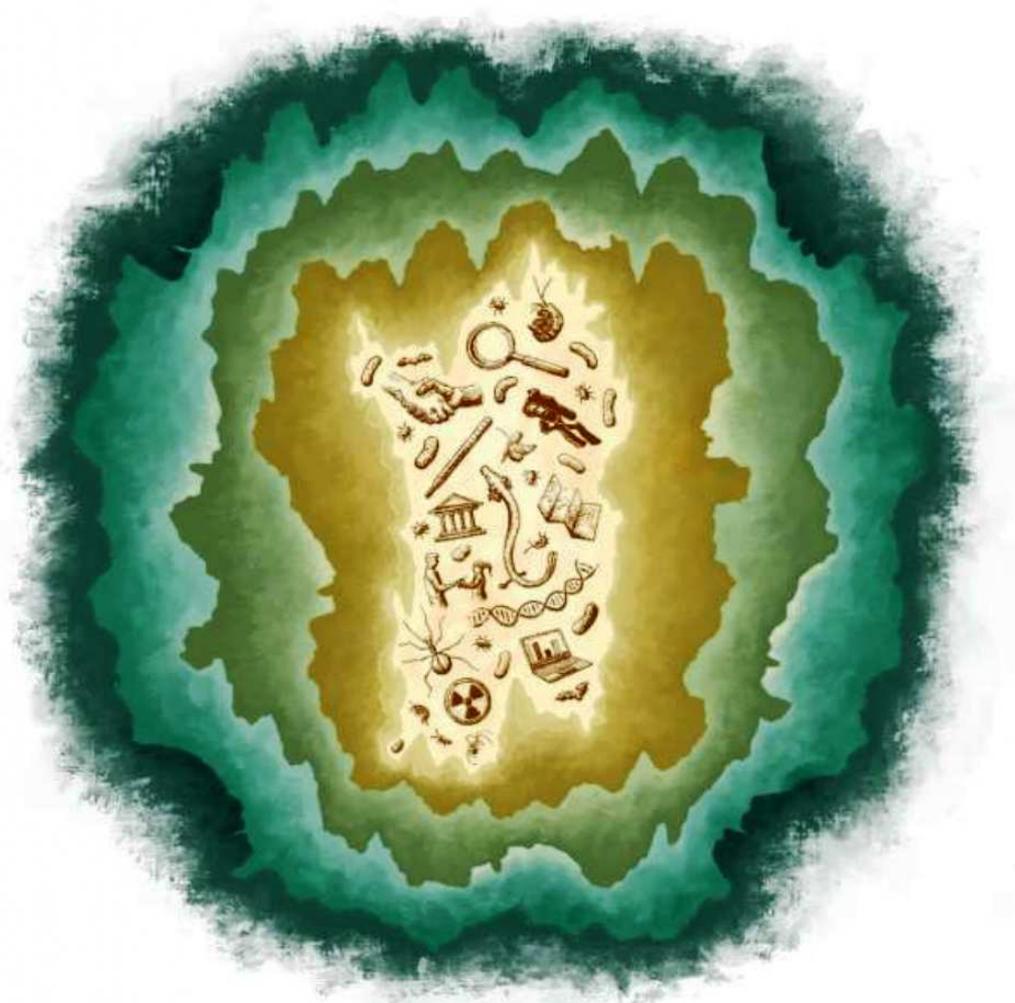


---

**26<sup>th</sup> International Conference on Subterranean Biology**  
**6<sup>th</sup> International Symposium on Anchialine Ecosystems**

---

*Book of Abstracts*



**CAGLIARI (SARDINIA)**  
**9 - 14 SEPTEMBER 2024**



Edited by

Eleonora Cialente, Agostina Tabilio Di Camillo, Tiziana Di  
Lorenzo, Enrico Lunghi



### **Logo**

Irene Frigo

### **Book Cover**

Jagoba Malumbres-Olarte

ISBN: 979-12-210-6749-1

26th ICSB – 6th ISAE  
Cagliari 9-14 Sept 2024



## Stygofauna Mundi: a comprehensive global biodiversity database of groundwater-related habitats across marine and freshwater realms.

MARTÍNEZ A.<sup>1,\*</sup>, DAVID D.C.<sup>2</sup>, CANCELLARIO T.<sup>3</sup>, ADAMO M.<sup>1</sup>, ANICIC N.<sup>4</sup>, AOUADI A.<sup>5,6</sup>, ARAÚJO T.Q.<sup>7</sup>, ARIFIN U.<sup>8</sup>, BALÁZS G.<sup>9,10</sup>, BALLOU L.<sup>11</sup>, BASS D.<sup>12</sup>, BOGOMOLOVA M.<sup>13</sup>, BORDA E.<sup>14</sup>, CABELLO-YEVES P.J.<sup>15,16</sup>, CALDERÓN-GUTIÉRREZ F.<sup>12</sup>, CALVARUSO S.<sup>17</sup>, ÇAKIL Z.V.<sup>18</sup>, CENTURIÃO T.D.<sup>19</sup>, CHÁVEZ-SOLÍS E. M.<sup>20</sup>, CHERTOPRU, E.M.<sup>21</sup>, CHIU Y-W.<sup>22</sup>, COLINAS N.<sup>3,23</sup>, COPILAŞ-CIOCIANU D.<sup>24</sup>, CRESI L.<sup>25</sup>, DÁNYI L.<sup>26</sup>, DAVIDSON A.M.<sup>27</sup>, DI LORENZO T.<sup>28</sup>, DIEZ Y. L.<sup>8,29</sup>, DIGENIS M.<sup>30</sup>, DU PREEZ G.<sup>31</sup>, DURUCAN F.<sup>32</sup>, EVTIMOVA V.V.<sup>33</sup>, FERRARI E.<sup>1</sup>, FERREIRA R.<sup>34</sup>, TAYBI A. F.<sup>35</sup>, FRESNO-LÓPEZ Z.<sup>1</sup>, FUJITA Y.<sup>36</sup>, GALLI A.<sup>26</sup>, GARCÍA-COBO M.<sup>37</sup>, GARCÍA-GÓMEZ G.<sup>38</sup>, GARLASCHÈ G.<sup>39</sup>, GARZOLI L.<sup>1</sup>, GASIOROWSKI L.<sup>40</sup>, GAVISH-REGEV E.<sup>41</sup>, GEROVASILEIOU V.<sup>30</sup>, GOLDSCHMIDT T.<sup>42</sup>, GONZALEZ B.C.<sup>43</sup>, GREGO J.<sup>44</sup>, GRIEBLER C.<sup>45</sup>, GUSEVA P.<sup>21</sup>, HAMDARD M.H.<sup>46</sup>, HUMPHREYS W.F.<sup>47</sup>, HUSANA D.E.<sup>48</sup>, IEPURE S.<sup>49,50</sup>, ILIFFE T.M.<sup>51</sup>, IVANENKO V.N.<sup>21,52</sup>, JALŽIĆ B.<sup>53</sup>, KAJIHARA H.<sup>54</sup>, KAKUI K.<sup>54</sup>, KARPOWICZ M.<sup>55</sup>, KATSUSHIMA H.<sup>56</sup>, KITAYAMA H.<sup>56</sup>, KOVAČ-KONRAD P.<sup>57</sup>, LAMSON M. R.<sup>58,59</sup>, LASSO C.A.<sup>60</sup>, LIANG S-H.<sup>61</sup>, LOPEZ M.D.L.<sup>62</sup>, LUNGI E.<sup>63</sup>, MABROUKI Y.<sup>64</sup>, MAJD N.<sup>65,66,67</sup>, MALEK-HOSSEINI M.J.<sup>68,69</sup>, MERCADO-SALAS N.<sup>8</sup>, MESSANA G.<sup>28</sup>, MIDDLETON J.A.<sup>70</sup>, MOLDOVAN O.T.<sup>50</sup>, MORI N.<sup>71</sup>, MURAKAMI R.<sup>72</sup>, NAKATA M.<sup>73</sup>, NICOLOSI G.<sup>1,74</sup>, NIEMILLER M.L.<sup>75</sup>, OKANISHI M.<sup>76</sup>, PARAGAMIAN K.<sup>77</sup>, PARK J.<sup>78</sup>, PAVLEK M.<sup>53,79</sup>, PERALTA M.<sup>80</sup>, PERINA G.<sup>47</sup>, PEŠIĆ V.<sup>81</sup>, PROUDLOVE G.S.<sup>82</sup>, RASHIDIFARD M.<sup>83</sup>, RASOLOARINIAINA J.R.<sup>84</sup>, REDDELL J.R.<sup>85</sup>, RENDOŠ M.<sup>86</sup>, RODRÍGUEZ-GIJÓN A.<sup>87</sup>, RUBIO-LÓPEZ I.<sup>88,89</sup>, SARADRIT P.<sup>90</sup>, SACCÒ M.<sup>47</sup>, SAKIHARA T. S.<sup>91</sup>, SÁNCHEZ N.<sup>37</sup>, SATHICQ M.B.<sup>92</sup>, SAVCHENKO A.<sup>21</sup>, SAVIĆ A.<sup>93</sup>, SEPTELKA R.<sup>94,95</sup>, SETUBAL R.B.<sup>96</sup>, SFORZI T.<sup>1</sup>, SHAIK S.<sup>97,98</sup>, SHIMOMURA M.<sup>99</sup>, SIMOV N.<sup>100</sup>, SLAY M.E.<sup>101</sup>, STEMME T.<sup>102</sup>, SUHLING F.<sup>103</sup>, THAPA B.<sup>104</sup>, TRUJILLO D.<sup>1</sup>, WEBER D.<sup>105,106</sup>, YAMAO H.<sup>107</sup>, YAMASAKI H.<sup>108</sup>, YURIKOVA D.<sup>21,109</sup>, ZAUPA S.<sup>1</sup>, ZHAO Y.<sup>110</sup>, MOOSDORF N.<sup>111,112</sup>, BRANKOVITS D.<sup>1</sup>, ROSATI I.<sup>113,114,115</sup>, TARALLO A.<sup>113,114</sup>, MAMMOLA S.<sup>1,115,116</sup>, FONTANETO D.<sup>1,115</sup>

<sup>1</sup>Molecular Ecology Group (MEG), Water Research Institute (IRSA), National Research Council of Italy (CNR)

<sup>2</sup>Department of Taxonomy and Ecology, Faculty of Biology and Geology, Babeş-Bolyai University, Cluj-Napoca, Romania

<sup>3</sup>Centre Balear de Biodiversitat, Universitat de les Illes Balears, Palma, Spain

<sup>4</sup>Institute of Microbiology, Department for Environment Constructions and Design, University of Applied Sciences and Arts of Southern Switzerland (SUPSI), Mendrisio, Switzerland

<sup>5</sup>Laboratoire de Conservation des Zones Humides, University 8 Mai, Guelma, Algeria

<sup>6</sup>Faculty of Natural and Life Sciences, Department of Biology, Chadli Benjedid University, El Tarf, Algeria

<sup>7</sup>University of Massachusetts Lowell. One University Avenue, Lowell, MA, USA

<sup>8</sup>Centre for Taxonomy and Morphology (ZTM). Museum of Nature Hamburg. Leibniz Institute for the Analysis of Biodiversity Change, Hamburg, Germany

<sup>9</sup>Department of Systematic Zoology and Ecology, Eötvös Loránd University, Budapest, Hungary

<sup>10</sup>ELKH-ELTE-MTM Integrative Ecology Research Group, Hungary

<sup>11</sup>Berea College, Berea, KY, USA

<sup>12</sup>Department of Biology, University of Central Oklahoma, Edmond, OK, USA

<sup>13</sup>Freelance translator. Verbania-Pallanza, Italy

<sup>14</sup>Department of Natural Sciences, Texas A&M University San Antonio, San Antonio, TX, USA

<sup>15</sup>School of Life Sciences, University of Warwick, Coventry, United Kingdom

<sup>16</sup>Evolutionary Genomics Group, Departamento de Producción Vegetal y Microbiología, Universidad Miguel Hernández, San Juan de Alicante, Alicante, Spain

<sup>17</sup>Oikos Consulenza e ingegneria ambientale Sagl. Oikos Consulenza e ingegneria ambientale Sagl., Bellinzona, Switzerland

<sup>18</sup>Summerer Lab, TU Dortmund. Faculty of Chemistry and Chemical Biology, Dortmund, Germany

<sup>19</sup>Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografias (FAENG). Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil

<sup>20</sup>Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías. UMDI Sisal, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México

<sup>21</sup>Department of Invertebrate Zoology, Faculty of Biology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

<sup>22</sup>Department of Biological Resources, National Chiayi University, Chiayi City, Taiwan

<sup>23</sup>Evolutionary Ecology Lab, Cavanilles Institute of Biodiversity and Evolutionary Biology, University of Valencia, Valencia, Spain



- <sup>24</sup>Laboratory of Evolutionary Ecology of Hydrobionts, Nature Research Centre, Vilnius, Lithuania
- <sup>25</sup>Department of Environmental Science and Policy (ESP), Università degli Studi di Milano, Milan, Italy
- <sup>26</sup>Freelancer/independent researcher
- <sup>27</sup>Institute of Marine Biology, College of Life Science, National Taiwan Ocean University, Keelung, Taiwan
- <sup>28</sup>Research Institute on Terrestrial Ecosystems of the CNR (CNR-IRET). National Biodiversity Future Center (NBFC), Sesto Fiorentino (Firenze), Italy .
- <sup>29</sup>Hasselt University, Centre for Environmental Sciences, Research Group Zoology: Biodiversity and Toxicology, Universitaire Campus Gebouw D, Diepenbeek, Belgium
- <sup>30</sup>Department of Environment, Faculty of Environment, Ionian University, Zakynthos, Greece
- <sup>31</sup>Agricultural Sciences, Potchefstroom Campus, North-West University, South Africa
- <sup>32</sup>Department of Aquaculture, Isparta University of Applied Sciences, Isparta, Türkiye
- <sup>33</sup>Institute of Biodiversity and Ecosystem Research, Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, Bulgaria
- <sup>34</sup>Centro de Estudos em Biologia Subterrânea. Departamento de Ecologia e Conservação. Instituto de Ciências Naturais. Universidade Federal de Lavras. Lavras, Minas Gerais, Brasil
- <sup>35</sup>Applied Biology and Biotechnology Research Team, Multidisciplinary Faculty of Nador, Mohammed First University, Nador 62700, Morocco
- <sup>36</sup>General Educational Center, Okinawa Prefectural University of Arts, Naha, Okinawa, Japan
- <sup>37</sup>Department of Biodiversity, Ecology and Evolution, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, Spain
- <sup>38</sup>Departamento de Biología y Geología, Física y Química Inorgánica, Universidad Rey Juan Carlos, Campus de Móstoles, Madrid, Spain
- <sup>39</sup>Laboratoire de Physiologie Écologique et Évolutive Marine, Département de Biologie, Chimie et Géographie, Université du Québec à Rimouski, Rimouski, QC, Canada
- <sup>40</sup>Department of Tissue Dynamics and Regeneration Max Planck Institute for Multidisciplinary Sciences Am Fassberg 11, Göttingen, Germany
- <sup>41</sup>Scientific Collection Manager, Arachnida & other terrestrial arthropods, The National Natural History Collections, The Hebrew University of Jerusalem, Edmond J. Safra Campus. Jerusalem, Israel
- <sup>42</sup>SNSB – ZSM, Bavarian State Collection of Zoology, Section Arthropoda varia, Munich, Germany
- <sup>43</sup>Minderoo-UWA Deep-Sea Research Centre, Perth, Western Australia, Australia
- <sup>44</sup>Independent researcher, Banská Bystrica, Slovakia
- <sup>45</sup>University of Vienna. Department of Functional & Evolutionary Ecology, Vienna, Austria
- <sup>46</sup>Faculty of Biology Kabul University, Kart-e-Char, Kabul, Afghanistan
- <sup>47</sup>Subterranean Research and Groundwater Ecology (SuRGE) Group, Trace and Environmental DNA (TrEnD) Lab, School of Molecular and Life Sciences, Curtin University, Perth, Western Australia, Australia
- <sup>48</sup>Environmental Biology Division, Institute of Biological Sciences, University of the Philippines Los Baños College, Laguna, Philippines
- <sup>49</sup>Department of Taxonomy and Ecology, Faculty of Biology and Geology, Babeş-Bolyai University, Romania
- <sup>50</sup>Emil Racoviță Institute of Speleology, Romania
- <sup>51</sup>Independent researcher, Galveston, TX, USA
- <sup>52</sup>Faculty of Biology, Shenzhen MSU-BIT University, Shenzhen, China
- <sup>53</sup>Croatian Biospeleological Society, Zagreb, Croatia
- <sup>54</sup>Faculty of Science, Hokkaido University. Sapporo, Japan
- <sup>55</sup>Department of Hydrobiology, Faculty of Biology, University of Białystok, Ciołkowskiego 1J, Białystok, Poland
- <sup>56</sup>Graduate School of Environmental Science, Hokkaido University, Sapporo, Japan
- <sup>57</sup>Državni Zavod za Zastitu Prirode, Croatia
- <sup>58</sup>Hawai'i Department of Land and Natural Resources, Division of Aquatic Resources, Kailua-Kona, Hawai'i, USA
- <sup>59</sup>Hawai'i Wildlife Fund, Kealahou, Hawai'i, United States
- <sup>60</sup>Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá, Colombia
- <sup>61</sup>Department of Biotechnology, National Kaohsiung Normal University, Yanchao District, Kaohsiung City, Taiwan
- <sup>62</sup>University of Victoria, British Columbia, Canada
- <sup>63</sup>Department of Life, Health and Environmental Sciences (MeSVA), University of L'Aquila, L'Aquila, Italy
- <sup>64</sup>Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Faculty of Sciences, Dhar El Mehraz, Laboratory of Biotechnology, Conservation and Valorization of Natural Resources, Fes Morocco
- <sup>65</sup>Massane Forest Reserve, Banyuls-sur-Mer, France
- <sup>66</sup>Toulouse University, LRSV, UMR 5546 UPS/CNRS/INPT. Auzeville-Tolosane, France
- <sup>67</sup>University of Applied Sciences and Arts of Southern Switzerland, Institute of Microbiology. Mendrisio, Switzerland



- <sup>68</sup>Jovan Hadži Institute of Biology, Research Centre of the Slovenian Academy of Sciences and Arts, Ljubljana, Slovenia
- <sup>69</sup>Université libre de Bruxelles (ULB), Evolutionary Biology & Ecology, Brussels, Belgium
- <sup>70</sup>Ooid Scientific. Great Southern, Western Australia, Australia
- <sup>71</sup>National Institute of Biology, Ljubljana, Slovenia
- <sup>72</sup>Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, Kashiwa, Japan
- <sup>73</sup>Hokkaido Subdivision, TOPPAN Inc., Sapporo, Japan
- <sup>74</sup>Department of Life Sciences and Systems Biology, University of Turin, Torino, Italy
- <sup>75</sup>Department of Biological Sciences, The University of Alabama in Huntsville, Huntsville, AL, USA
- <sup>76</sup>Faculty of Human Environmental Studies, Hiroshima Shudo University, Asaminami-ku, Hiroshima Japan
- <sup>77</sup>Hellenic Institute of Speleological Research, Heraklion, Crete, Greece
- <sup>78</sup>Research Institute of EcoScience, Ewha Womans University, South Korea
- <sup>79</sup>Ruder Boskovic Institute, Zagreb, Croatia
- <sup>80</sup>Instituto de Invertebrados-Fundación Miguel Lillo, Tucumán, Argentina
- <sup>81</sup>Department of Biology, University of Montenegro, Podgorica, Montenegro
- <sup>82</sup>Biological Recorder and Honorary Curator of Myriapoda, Department of Entomology, The Manchester Museum, The University of Manchester, Manchester M13 9PL, United Kingdom
- <sup>83</sup>Unit for Environmental Sciences and Management, North-West University, Potchefstroom, South Africa
- <sup>84</sup>Department of Environment I.E.S.A.V - University of Antananarivo, Madagascar
- <sup>85</sup>University of Texas Insect Collection, Biodiversity Collections, The University of Texas at Austin, Austin, Texas, USA
- <sup>86</sup>Department of Ecology, Faculty of Humanities and Natural Sciences, University of Prešov, Prešov, Slovakia
- <sup>87</sup>Department of Ecology, Environment, and Plant Sciences, Science for Life Laboratory, Stockholm University, Stockholm, Sweden
- <sup>88</sup>Laboratory of Environmental Microbiology, Institute of Microbiology of the Czech Academy of Sciences, Videnska, Prague, Czech Republic
- <sup>89</sup>Department of Ecology, Charles University, Faculty of Science, Prague 2, Czech Republic
- <sup>90</sup>Princess Maha Chakri Sirindhorn Natural History Museum and RSPG Southern Region Network Coordinating Center, Prince of Songkla University, Songkhla, Thailand
- <sup>91</sup>Hawai'i Department of Land and Natural Resources, Division of Aquatic Resources, Hilo, Hawai'i, USA
- <sup>92</sup>Instituto de Limnología Dr. Raul A Ringuélet (ILPLA), Argentina
- <sup>93</sup>Department of Biology and Ecology, Faculty of Sciences and Mathematics, University of Niš, Niš, Serbia
- <sup>94</sup>A.I.S., Inc. Galveston, Texas, USA
- <sup>95</sup>Department of Marine Biology, Texas A&M University at Galveston, Galveston, Texas, USA
- <sup>96</sup>Laboratory of Limnology, Ecology Department, Federal University of Rio de Janeiro-UFRJ, Centro de Ciências da Saúde, Bloco A, Sala A0-008, Cidade Universitária, Ilha Do Fundão, Rio de Janeiro, Brasil
- <sup>97</sup>Department of Life Science, Central University of Karnataka, Kadaganchi, India
- <sup>98</sup>Centre for Ecological Sciences, Indian Institute of Science, Bangalore, India
- <sup>99</sup>Seto Marine Biological Laboratory, Kyoto University, Japan
- <sup>100</sup>National Museum of Natural History, Bulgarian Academy of Sciences, Bulgaria
- <sup>101</sup>Arkansas Field Office, The Nature Conservancy, Fayetteville, AR, USA
- <sup>102</sup>Universität Ulm, Helmholtzstraße 16, Ulm, Germany
- <sup>103</sup>Landscape Ecology and Environmental Systems Analysis, Institute of Geocology, Technische Universität Braunschweig, Braunschweig, Germany
- <sup>104</sup>Freshwater Biology Section, Department of Biology, University of Copenhagen, Copenhagen, Denmark
- <sup>105</sup>Senckenberg German Entomological Institute, Müncheberg, Germany
- <sup>106</sup>National Museum of Natural History Luxembourg, Section de Zoologie, Luxembourg
- <sup>107</sup>Super-network Brain Physiology, Graduate School of Life Sciences, Tohoku University, Sendai, Japan
- <sup>108</sup>Faculty of Arts and Science, Kyushu University, Fukuoka, Japan
- <sup>109</sup>Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
- <sup>110</sup>Key Laboratory of Zoological Systematics and Evolution, Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Chaoyang District, Beijing, China
- <sup>111</sup>Leibniz Centre for Tropical Marine Research (ZMT), Bremen, Germany
- <sup>112</sup>University of Kiel, Kiel, Germany
- <sup>113</sup>Institute of Research on Terrestrial Ecosystems (IRET), National Research Council (CNR), Lecce, Italy
- <sup>114</sup>LifeWatch ERIC, Lecce, Italy; University of Bari, Bari, Italy
- <sup>115</sup>NBFC, National Biodiversity Future Center, Palermo, Italy



<sup>116</sup>Laboratory of Terrestrial Ecosystems, Department of Life Sciences and System Biology, Torino, Italy

\*Corresponding author. E-mail: [amartinez.ull@gmail.com](mailto:amartinez.ull@gmail.com)

Groundwater ecosystems are inhabited by unique assemblages of animals, often with restricted distributions and highly specialized traits. Those assemblages sustain ecosystem functioning and contribute to important ecosystem services. Knowledge of the species occurring in those habitats and the main ecological and historical drivers for their distribution is important not only from a theoretical point of view, but also to ensure their optimal conservation and groundwater resources management in the perspective of global change. Unfortunately, despite more than a hundred years of research, most information on the species occurring in groundwaters is either not directly accessible, or scattered across a myriad of publications, personal collections, and databases with often a narrow scope and interoperability. To enhance the accessibility of this information, we have built Stygofauna Mundi. Stygofauna Mundi, named after the compendium published by Lazare Botosaneanu in 1986, is a relational, interactive, interoperable, and open-access database aimed at gathering all available information related to animals inhabiting groundwater environments and connected ecotones. We mined all records available in each data source independently, allowing us to trace the origin of each entry. We included all records for aquatic species found in groundwaters, whether they are permanent residents or present only as aquatic or semi-aquatic life stages. We linked and validated all taxonomic names after the Catalogue of Life, Worms-APHIA platform, GBIF, and GenBank. Each name is connected to a set of metadata including the level of subterranean specialization, lifestyle, and available DNA sequences. Functional traits will be incorporated in a subsequent version. For each locality, Stygofauna Mundi includes coordinates (available for 87% of the localities so far), as well as geographical and geological data interoperable with most regional and national cave cadasters and open access databases, such as Global Lithological Map, HydroAtlas, GMBA Mountain Inventory, Global Hydrogeological Maps 2.0, World Administrative Regions, Marine Ecoregions, and OpenStreetMap. The database contains 388,872 records, extracted from 11,661 data sources written in 28 languages. These records account for 52,120 localities and 31,338 taxonomic entities. The localities include springs (N=18,958); marine, coastal, and inland caves and mines (N=12,361); interstitial environments in lakes, seashores, and rivers (N=10,453); wells and boreholes (N=9,326); as well as groundwater-fed and anchialine pools (N=1,022). While they cover all continents, records originate mostly from Europe (N=24,511) and North America (N= 13,216). The most taxon rich are Hexapoda (N=5,407), followed by Copepoda (N=3,892), Nematoda (N=3,802), Mollusca (N=3878), Platyhelminthes (N=2,200), Annelida (N=2,038), Amphipoda (N=2,014), and Acari (N=1,765). By means of Stygofauna Mundi, we will describe firstly the taxonomic and geographic biases that affect global knowledge on groundwaters. We will then expand on the habitat classification by Botosaneanu in the original Stygofauna Mundi combining data on the hydrology, geology, chemical profiles, and community composition within localities. Next, we will study the main drivers for changes in taxonomic alpha and beta diversity at a global scale, both across different animal lineages and groundwater ecosystems. Finally, we will explore how to use these data for boosting global conservation plans for the groundwater ecosystems, e.g., by proposing a spatially-explicit strategy to better incorporate groundwater biodiversity into the expanding national and international networks of protected areas.



No. 83 August 2024



Union Internationale de Spéléologie (UIS)  
**Commission on Volcanic Caves**  
e-NEWSLETTER



<http://www.vulcanospeleology.org/>



Tapa del Newsletter 83 de la  
Comisión de Cavidades Volcánicas de la UIS  
Puede descargarse de <http://www.vulcanospeleology.org/> y de  
[www.fade.org.ar](http://www.fade.org.ar) (Publicaciones Internacionales).

# Importancia de formar profesionales para las investigaciones científicas en cavidades naturales

Carlos Benedetto

Federación Argentina de Espeleología – FAdE

[carlos\\_benedetto@fade.org.ar](mailto:carlos_benedetto@fade.org.ar)

## Resumen ampliado:

*El 90 % del patrimonio espeleológico del país se concentra en la Cuenca Neuquina, donde las más de 260 cavidades naturales registradas se presentan en distintas litologías: cavidades kársticas en yeso y caliza, y pseudokársticas en basalto. En dos cavernas calizas, una en Neuquén y otra en Mendoza, se han iniciado estudios de reconstrucciones paleoclimáticas en los anillos concéntricos de sus estalagmitas, llegándose a una datación máxima de 132.000 años en Las Brujas, Mendoza (Brook, 2012; Benedetto, 2009). Estas investigaciones no tienen continuidad debido a la ausencia de especialistas argentinos. En relación a la biota de las cavernas (Espeleobiología), se han registrado casi 30 especies, de las cuales sólo tres fueron identificados como especies nuevas troglobias o estigobiontes, estas últimas del norte del país. En la Cueva Doña Otilia (pseudokárstica), Mendoza, se describió una nueva familia de arácnidos (Acosta, 2019), lo que hace predecir futuros hallazgos faunísticos interesantes. En el Sistema Cavernario Cuchillo Curá (Neuquén) hay una comunidad de fauna endémica sobre la que no hubo avances en la Sistemática desde que fue descubierta en 1986. Se reflexiona sobre la importancia que la Espeleobiología tiene para la Biogeografía Histórica. Esto plantea la necesidad de formar más profesionales interesados en la Espeleología. De la lectura de los cuadros que se anexan (Peralta y col. inéd.) surge que en las cuevas argentinas hasta el momento se han encontrado 9 especies acuáticas, de las cuales sólo una está descrita como estigobionte. De las 28 especies terrestres, sólo dos fueron descritas como troglobias y otras dos como posibles troglobias. Del repaso de la bibliografía surge además que son muy pocos los especialistas argentinos que abordaron hasta el presente el estudio de los parámetros ambientales espeleológicos y menos aún los profesionales de la Biología que se ocupan de la Sistemática de las especies subterráneas. Se ve asimismo que la mayoría de las cuevas biológicamente relevadas, en su mayoría se encuentran en la Cuenca Neuquina, región particularmente sensible a las consecuencias del extractivismo. Se enumera la bibliografía producida hasta el presente sobre este tema: 1) Acosta, L. 2019. A relictual troglomorphic harvestman discovered in a volcanic cave of western Argentina: *Otilioleptes marcelae*, new genus, new species, and *Otilioleptidae*, new family (Arachnida, Opiliones, Gonyleptoidea). PLoS ONE 14(10): e0223828. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.022382>; 2) Anghilante, C. 1987. Resultados bioespeleológicos preliminares sobre el sistema de Cuchillo Cura. Salamanca 3: 13-18, 3) Anghilante, C., et al. 1990. Evaluación de Impacto Ambiental Sistema de Cuchillo Cura. Salamanca 6 (6): 7-52; 4) Battistoni, P. y A. Dippolito. 1993. Plancton de la*

Cueva del León, Neuquén, Argentina. *Spelaion* 4 (4): 3-4; 5) Benedetto, C. y M. Peralta, 2007. Observaciones sobre la ecología de la cueva Doña Otilia (Malargüe, Mendoza, Argentina). *Actas del V Congreso de Espeleología-Federación Espeleológica de América Latina y del Caribe (FEALC) y I Congreso de FEPUR, Aguadilla, Puerto Rico*. 6) Benedetto, C. et al, 2009. Informe (inédito) sobre posible impacto ambiental en la Caverna Puente del Diablo – Salta – Argentina, 7) Brignoli, P. 1972. Sur quelques araignées cavernicoles d'Argentine, Uruguay, Brésil et Venezuela récoltées par le Dr. P. Strinati. *Revue Suisse de Zoologie*, Tome 79, fasc. 1, Nro. 12: 361-385, 8) Brojan, M. 2000. *Biología en Cueva Doña Otilia (Malargüe, Mendoza, Argentina)*. *Spelaion* 7: 55-58; 9) Brook, G., 2012. Paleoclimate reconstruction using speleothems from karst caves in Argentina—George Brook—Universidad de Georgia EEUU/FAdE. En: *Argentina Subterranea* 31, pp. 4-5 - <http://fade.org.ar/images/prod/OYqRKJMeLT1H0bftWLEnjf5vd5k56.pdf>; 10) Di Iorio O. et al. 2008. Biodiversidad de artrópodos en algunas cavernas de la Argentina. *Actas del VII Congreso Argentino de Entomología, Huerta Grande- Córdoba*: 270. 11) Genise, J. y A. Romanelli. 2003. Estudios bioespeleológicos de las cavernas de la Provincia de Córdoba (Rep. Arg.). Centro Argentino de Espeleología. [www.cae.ar.tripod.com](http://www.cae.ar.tripod.com). 12) Gnaspini, P. 1991. A new cavernicolous Ptomaphagus (Coleoptera, Cholevidae) from Argentina. *Giornale italiano di Entomologia*, 5:391-395. 13) Grosso, L. y H. Fernández. 1990 (1993). Nuevo género cavernícola austral de Bogidiellidae; Patagongidiella n. gen. del noroeste Patagónico (Neuquén, Argentina). *Bolletino del Museo Civico di Storia naturale di Verona* 17: 357-372. 14) Marino De Remes Lenicov, A. M. 1992. Fulgoroideos sudamericanos. I. Un nuevo género y especie de Cixiidae cavernícola de la Patagonia (Insecta: Homoptera). *Neotropica*, 38 (100): 155-160. 15) Maury, E. 1986. Hallazgo aracnológico en cavernas del oeste argentino. *Salamanca* 2 (2): 20-24; 16) Maury, E. 1988. Triaenonichidae Sudamericanos. V. un nuevo género de Opiliones cavernícolas de la Patagonia (Opiliones, Laniatores). *Mémoires de Biospéologie*. Tome XV, 1988. 17) Palacios Vargas, J. 1992. Nuevos datos sobre los colémbolos y ácaros cavernícolas en Argentina. *Spelaion* 3 (3): 3-6; 18) Peralta M.; Grosso L.E. y Benedetto, C. Vulnerabilidad de la Fauna de cavernas y aguas subterráneas de Argentina, inédito. 19) Palacios Vargas, J. 1999. New genus and species of Spinothecidae (Collembola) from caves of Argentina. *Mémoires de Biospéologie*, Tome XXVI: 101-106; 20) Pic, M. 1923. *Mélange exotomol.*, 51, p. 3. 20) Trajano, E. 1991. Notas biológicas sobre cavernas argentinas (resultados de la Primera Expedición Espeleológica Argentino-Brasileña, Neuquén-Mendoza). *Spelaion* 2 (2): 3-8.

**Palabras clave:** patrimonio espeleológico, kárstico, pseudokárstico, estalagmitas, Espeleobiología, troglobios, estigobiontes

**Agradecimiento:** A la Dra. Marcela Alejandra Peralta (Fundación Miguel Lillo – Tucumán), por la recopilación de esta información y por la lectura crítica de este trabajo

### **Extended summary:**

90% of the country's speleological heritage is concentrated in the Neuquén Basin, where the more than 260 natural cavities recorded are presented in different lithologies: karst cavities in gypsum and limestone, and pseudokarst cavities in basalt. In two limestone caverns, one in Neuquén and the other in Mendoza, studies of paleoclimatic reconstructions in the concentric rings of their stalagmites have begun, reaching a maximum date of 132,000 years in Las Brujas, Mendoza (Brook, 2012; Benedetto, 2009). These investigations are not continuing due to the absence of Argentine specialists. In relation to cave biota (Speleobiology), almost 30 species have been recorded, of which only three were identified as new troglobian or stygobiont species, the latter from the north of the country. In the Doña Otilia Cave (pseudokarst), Mendoza, a new family of arachnids was described (Acosta, 2019), which predicts interesting future faunal findings. In the Cuchillo Curá Cave System (Neuquén) there is a community of endemic fauna on which there has been no progress in Systematics since it was discovered in 1986. The importance of Speleobiology for Historical Biogeography is reflected. This raises the need to train more professionals interested in Caving. From the reading of the attached tables (Peralta et al. unpublished) it emerges that 9 aquatic species have been found in Argentine caves so far, of which only one is described as a stygobiont. Of the 28 terrestrial species, only two were described as troglobias and two others as possible troglobes. From the review of the bibliography, it also emerges that there are very few Argentine specialists who have addressed the study of speleological environmental parameters to date, and even fewer professionals of Biology who deal with the Systematics of underground species. It is also seen that most of the biologically surveyed caves are located in the Neuquén Basin, a region particularly sensitive to the consequences of extractivism. The bibliography produced to date on this topic is listed: 1) Acosta, L. 2019. A relictual troglomorphic harvestman discovered in a volcanic cave of western Argentina: *Otilioleptes marcelae*, new genus, new species, and *Otilioleptidae*, new family (Arachnida, Opiliones, Gonyleptoidea). *PLoS ONE* 14(10): e0223828. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0223828>; 2) Anghilante, C. 1987. Resultados bioespeleológicos preliminares sobre el sistema de Cuchillo Cura. *Salamanca* 3: 13-18, 3) Anghilante, C., et al. 1990. Evaluación de Impacto Ambiental Sistema de Cuchillo Cura. *Salamanca* 6 (6): 7-52; 4) Battistoni, P. y A. Dippolito. 1993. Plancton de la Cueva del León, Neuquén, Argentina. *Spelaion* 4 (4): 3-4; 5) Benedetto, C. y M. Peralta, 2007. Observaciones sobre la ecología de la cueva Doña Otilia (Malargüe, Mendoza, Argentina). *Actas del V Congreso de Espeleología-Federación Espeleológica de América Latina y del Caribe (FEALC) y I Congreso de FEPUR, Aguadilla, Puerto Rico*. 6) Benedetto, C. et al, 2009. Informe (inédito) sobre posible impacto ambiental en la Caverna Puente del Diablo – Salta – Argentina, 7) Brignoli, P. 1972. Sur quelques araignées cavernicoles d'Argentine, Uruguay, Brésil et Venezuela récoltées par le Dr. P. Strinati. *Revue Suisse de Zoologie*, Tome 79, fasc. 1, Nro. 12: 361-385, 8) Brojan, M. 2000. Biología en Cueva Doña Otilia (Malargüe, Mendoza, Argentina). *Spelaion* 7: 55-58; 9) Brook, G., 2012. Paleoclimate reconstruction using speleothems from karst caves in Argentina—George Brook—Universidad de Georgia EEUU/FAde. En: *Argentina Subterránea* 31, pp. 4-5 - <http://fade.org.ar/images/prod/OYqRKJMeLT1H0bftWLEnjf5vd5k56.pdf>; 10) Di Iorio

O. et al. 2008. Biodiversidad de artrópodos en algunas cavernas de la Argentina. *Actas del VII Congreso Argentino de Entomología, Huerta Grande- Córdoba*: 270. 11) Genise, J. y A. Romanelli. 2003. *Estudios bioespeleológicos de las cavernas de la Provincia de Córdoba (Rep. Arg.)*. Centro Argentino de Espeleología. [www.cae.ar.tripod.com](http://www.cae.ar.tripod.com). 12) Gnaspini, P. 1991. A new cavernicolous *Ptomaphagus* (Coleoptera, Cholevidae) from Argentina. *Giornale italiano di Entomologia*, 5:391-395. 13) Grosso, L. y H. Fernández. 1990 (1993). Nuevo género cavernícola austral de *Bogidiellidae*; *Patagongidiella* n. gen. del noroeste Patagónico (Neuquén, Argentina). *Bolletino del Museo Civico di Storia naturale di Verona* 17: 357-372. 14) Marino De Remes Lenicov, A. M. 1992. *Fulgoroideos sudamericanos. I. Un nuevo género y especie de Cixiidae cavernícola de la Patagonia (Insecta: Homoptera)*. *Neotropica*, 38 (100): 155-160. 15) Maury, E. 1986. *Hallazgo aracnológico en cavernas del oeste argentino*. *Salamanca* 2 (2): 20-24; 16) Maury, E. 1988. *Triaeonichidae Sudamericanos. V. un nuevo género de Opiliones cavernícolas de la Patagonia (Opiliones, Laniatores)*. *Mémoires de Biospéologie*. Tome XV, 1988. 17) Palacios Vargas, J. 1992. *Nuevos datos sobre los colémbolos y ácaros cavernícolas en Argentina*. *Speleon* 3 (3): 3-6; 18) Peralta M.; Grosso L.E. y Benedetto, C. *Vulnerabilidad de la Fauna de cavernas y aguas subterráneas de Argentina*, inédito. 19) Palacios Vargas, J. 1999. *New genus and species of Spinothecidae (Collembola) from caves of Argentina*. *Mémoires de Biospéologie*, Tome XXVI: 101-106; 20) Pic, M. 1923. *Mélange exotomol.*, 51, p. 3. 20) Trajano, E. 1991. *Notas biológicas sobre cavernas argentinas (resultados de la Primera Expedición Espeleológica Argentino-Brasileña, Neuquén-Mendoza)*. *Speleon* 2 (2): 3-8.

**Keywords:** speleological heritage, karst, pseudokarst, stalagmites, Speleobiology, troglobians, stygobionts

**Acknowledgement:** To Dr. Marcela Alejandra Peralta (Miguel Lillo Foundation – Tucumán), for the compilation of this information and for the critical reading of this work

1. ESPECIES ACUATICAS DE CAVERNAS DE ARGENTINA. Registros de fauna terrestre en cavernas de Argentina, con su localidad de procedencia. En caso de haber sido especificado por el autor de la referencia, se aclara el carácter de estigófila o estigobionte					
Ambiente	Taxon	Familia	Especie	Procedencia	Referencia
Cavernas	Protozoa-Ciliata	Codonellidae	Codonella sp.	Cueva del León, Neuquén [planton]	Battistoni y Dippolito, 1993
	Rotatoria	Aplanchnidae	<i>Aplanchna</i> (a.) <i>silvestri</i>	Cueva del León, Neuquén [planton]	Battistoni y Dippolito, 1993
		Brachionidae	<i>Brachionus calyciflorus</i> <i>Branchionus plicatilis</i> <i>Keratella cochlearis</i>		
	Crustacea Branchiopoda O. Diplostraca O. Cladocera	Bosminidae	<i>Bosminopsis delterzi</i>	Cueva del León, Neuquén [planton]	Battistoni y Dippolito, 1993
		Sididae			
Crustacea Amphipoda Crustacea Decapoda	Bogidiellidae	<i>Patagongidiella danieli</i> <i>Grosogidiella mauryi</i> <i>Aegla cf neuquensis</i>  <i>Aegla</i> sp.	Sistema Cuchillo Curú, Neuquén, [estigobiontes] Cueva de los Cangrejos, Malargüe, Mendoza [estigófila?] Puente del Diablo, La Poma, Salta [estigófila?]	Grosso y Fernández, 1990 colección de la Fund. Miguel Lillo, Tucumán colección de la Fund. Miguel Lillo, Tucumán	

Tabla 1. Peralta y col. *Vulnerabilidad de la Fauna de cavernas y aguas subterráneas de Argentina, inéd.*

**2. ESPECIES TERRESTRES DE CAVERNAS DE ARGENTINA. Registros de fauna terrestre en cavernas de Argentina, con su localidad de procedencia. En caso de haber sido especificado por el autor de la referencia, se aclara el carácter de troglóbio, troglófilo o guanobio**

Grupo	Familia	Especie	Cavidad [tipo]	Referencia
Oligochaeta			Sistema Cuchillo Cura, Cueva del León, Neuquén	Anghiante, 1987; Trajano, 1991
Nematoda			Doña Otília, Mendoza	Benedetto y Peralta, 2007
Opiliona	Trisenonychidae	<i>Pionchenops spelaeus</i>	Doña Otília, Mendoza	Brojan, 2000
	Gonyleptidae	<i>Parabalia (?) sp.</i>	Sistema Cuchillo Cura, Neuquén [troglóbio]	Maury, 1988
		<i>Discocyrtus testudineus</i>	Caverna de Las Brujas, Mendoza [troglófilo?] y Sima de Chumiaca, Neuquén [troglófilo?]	Maury, 1986
	Gonyleptidae (nueva familia)	<i>Otilioleptes marcelae</i>	Cueva de la Salamanca, Vuelta de Obligado, Buenos Aires	Di Iorio et al., 2008
Pseudoscorpionida	Chthonidae		Doña Otília, Mendoza (troglóbio)	Acosta, L., 2019; Benedetto y Peralta, 2007
Araneae	Pholcidae	<i>Spermophora strinati</i>	Doña Otília, Mendoza	Brojan, 2000
	Pholcidae		Caverna de Las Brujas, Mendoza	Biglioli, 1972
			Cueva de Characato, Cueva de la Y, Cueva de la Laguna Brava, Cueva Casa de la Plata, Córdoba; Cueva del Tigre, Mendoza; Cueva de la Salamanca, Vuelta de Obligado, Buenos Aires	Genise y Romanelli, 2003; Trajano, 1991; Di Iorio et al., 2008
	Tineidae		Cueva del Tigre, Mendoza	Trajano, 1991
	Theraphosidae	<i>Grammostola sp.</i>	Cueva de Las Brujas, Mendoza	Biglioli, 1972
	Amisulidae	<i>Auximus sp.</i>	Caverna de Las Brujas, Mendoza	Biglioli, 1972
	Thecididae		Sistema Cuchillo Cura, Neuquén	Anghiante et al., 1990; Trajano, 1991
	Agelenidae		Sistema Cuchillo Cura, Neuquén	Anghiante et al., 1990
	Araneidae		Sistema Cuchillo Cura, Neuquén	Trajano, 1991
	Linyphiidae		Sistema Cuchillo Cura, Neuquén	Anghiante, 1987
Acari	Rhagidia	<i>Rhagidia sp.</i>	Cueva del León, Neuquén	Trajano, 1991; Palacios Vargas, 1992
Crustacea Isopoda	Oniscidae		Sistema Cuchillo Cura, Neuquén	Anghiante, 1987
Minapoda	Scutigleridae(?)		Sistema Cuchillo Cura, Neuquén	Anghiante et al., 1990
Insecta Coleoptera	Cryptopidae	<i>Cryptops sp.</i>	Doña Otília, Mendoza	Pereira com. per.
	Cholevidae	<i>Dissochaetus immaculatus</i> , <i>Ptomaphagus picucho</i>	Cueva de Iturbe, Jujuy [troglófilo?], Sistema Cuchillo Cura, Neuquén [troglófilo]	Pic, 1923; Geaspini, 1991
	Carabidae		Caverna del Gendarme, Neuquén	Trajano, 1991
	Histeridae	<i>Euspilotes (Hesperosaprinus) modestus</i> , <i>Euspilotes (H.) gnathoncooides</i>	Cueva de la Laguna Brava, Córdoba [guanobio]	Genise y Romanelli, 2003
	Histeridae		Cueva de la Salamanca, Vuelta de Obligado [guanobio]	Di Iorio et al., 2008
	Catopidae		Cueva de la Salamanca, Vuelta de Obligado [guanobio]	Di Iorio et al., 2008
	Trogidae		Cueva de la Salamanca, Vuelta de Obligado [guanobio]	Di Iorio et al., 2008
	Tenebrionidae		Caverna del Gendarme, Neuquén	Trajano, 1991
	Staphylinidae		Caverna del Gendarme, Neuquén [troglófilo], Cueva de la Salamanca, Vuelta de Obligado [guanobio]	Trajano, 1991; Di Iorio et al., 2008
	Insecta Orthoptera	Phalangopsidae	<i>Erdectus sp.</i>	Cueva de Characato, Cueva de la Y, Cueva de la Laguna Brava, Cueva Casa de la Plata, Córdoba
Rhaphidophoridae		<i>Ceuthophilus sp.</i>	Cueva del Sauce, Córdoba y Cueva de la Salamanca, Vuelta de Obligado, Bs As.	Di Iorio et al., 2008
Insecta Diptera	Milichidae	cf. <i>Pholeomyia Desmometopa sp.</i> y <i>Ecocotomma concavum</i>	Caverna de Las Brujas, Mendoza	Trajano, 1991
	Sphaeroceridae	<i>Leptocera sp.</i>	Cueva de la Laguna Brava, Córdoba [guanobio]	Genise y Romanelli, 2003
	of Sciandae		Caverna del Gendarme, Neuquén	Trajano, 1991
	Sarcophagidae	cf. <i>Sarcoesia</i>	Caverna de Las Brujas, Mendoza	Trajano, 1991
	Tipulidae		Doña Otília, Mendoza	Benedetto y Peralta, 2007
	Muscidae		Cueva del Tigre, Mendoza	Trajano, 1991
Insecta Heteroptera	Reduviidae		Sistema Cuchillo Cura, Neuquén	Trajano, 1991
Insecta Homoptera	Cixiidae	<i>Notolathrus sensitivus</i>	Sistema Cuchillo Cura, Neuquén [troglóbio?]	Marino, 1992
Insecta Collembola	Isotomidae		Cueva del León, Neuquén	Trajano, 1991
	Isotomidae	<i>Cryptopygus caecus</i>	Cueva de Las Brujas, Mendoza	Trajano, 1991; Palacios Vargas, 1992
	Entomobryidae	<i>Entomobrya sp.</i>	Cueva de Las Brujas, Mendoza [troglófilo]	Palacios Vargas, 1992
	Entomobryidae		Sistema Cuchillo Cura, Neuquén	Anghiante et al., 1990; Trajano, 1991
	Spinotrocheidae	<i>Trogospinotheca reftsgaardiorum</i>	Cueva del León, Neuquén [troglóbio?]	Palacios Vargas, 1999
	sin determinación		Doña Otília, Mendoza	Brojan, 2000; Benedetto y Peralta, 2007
Insecta Lepidoptera	Tineidae		Sistema Cuchillo Cura, Neuquén y Cueva del Tigre, Mendoza	Anghiante, 1987; Trajano, 1991
	Pterophoridae	<i>Stenoptilia sp.</i>	Cueva de Characato, Cueva de la Y, Cueva de la Laguna Brava, Cueva Casa de la Plata, Córdoba	Genise y Romanelli, 2003
Insecta Hymenoptera	Figitidae		Cueva de la Laguna Brava, Córdoba [guanobio]	Genise y Romanelli, 2003
Insecta Thysanura	Nicotetidae		Sistema Cuchillo Cura, Neuquén	Anghiante, 1987; Trajano, 1991
Insecta Blattaria	Blattellidae		Caverna del Gendarme, Neuquén	Trajano, 1991
			Doña Otília, Mendoza, Mendoza	Benedetto y Peralta, 2007
Insecta Diplura	Campodeidae		Sistema Cuchillo Cura, Neuquén	Anghiante et al., 1990; Trajano, 1991
	Japygidae		Sistema Cuchillo Cura, Neuquén	Anghiante et al., 1990; Trajano, 1991
Insecta Anoplus			Sistema Cuchillo Cura, Neuquén	Anghiante et al., 1990
Insecta Psocoptera			Sistema Cuchillo Cura, Neuquén	Anghiante et al., 1990; Trajano, 1991
Auara Amphibia			Cueva del Arenal, Neuquén	Trajano, 1991
Mammalia Chiroptera	Phyllostomidae	<i>Desmodus rotundus</i>	Cueva de la Laguna Brava, Córdoba	Genise y Romanelli, 2003
	Vesperilionidae		Sistema Cuchillo Cura, Neuquén, Cueva del León, Neuquén y Cueva de Las Brujas, Mendoza	Trajano, 1991
		<i>Myotis levis levis</i>	Cueva de la Salamanca, Vuelta de Obligado, Buenos Aires	Di Iorio et al., 2008
Mammalia Rodentia	sin determinar	<i>Lasturus sp.</i>	Cueva del Tigre, Mendoza	Trajano, 1991
	Chinchillidae	<i>Lagidium sp.</i>	Sistema Cuchillo Cura, Neuquén	Trajano, 1991
			Cueva de Las Brujas y Cueva del Tigre, Mendoza	Trajano, 1991

Tabla 2. Peralta y col. Vulnerabilidad de la Fauna de cavernas y aguas subterráneas de Argentina, inéd.

Trabajo presentado en Julio de 2024 en la Mesa 26 del I Congreso de la Tierra, Facultad de Ciencias Sociales—UBA, Buenos Aires .... <https://lunacyc.org/congresos/> - <https://lunacyc.org/wp-content/uploads/2024/12/actas-congreso-de-la-tierra.pdf>



CARLOS BENEDETTO

# HISTORIA DE LA ESPELEOLOGÍA ARGENTINA

Apuntes autobiográficos



 ACERCÁNDONOS  
EDICIONES

Tal como decimos en el editorial, ya está en venta el libro en versión papel de Historia de la Espeleología Argentina (566 páginas). Quienes deseen adquirirlo por ahora deberán dirigirse al whatsapp +54 9 2604094916. Además de haberlo presentado en el CRIPA, esperamos poder hacer otro tanto en las ferias del libro de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y en la provincia de Neuquén, entre otras propuestas que estamos evaluando

# Búsqueda de indicadores de permafrost en la caverna Las Cascadas, Las Leñas, Andes del sur de Mendoza, Argentina: Informe Preliminar

D. Trombotto Liaudat <sup>(1)</sup> <sup>(2)</sup> y Ivy Pecker Marcosig <sup>(1)</sup>

(1) Geociología, IANIGLA, CCT CONICET Mendoza, Argentina

(2) Federación Argentina de Espeleología - FAdE

## Resumen

*La caverna Las Cascadas se localiza en las coordenadas 35° 05.692' LS y 70°02.979' LW. Está ubicada en un valle de montaña en la Cordillera Principal, en la zona de Las Leñas, departamento de Malargüe, Mendoza, Argentina. La litología principal de la zona y de la caverna es el yeso que corresponde a la Formación Auquilco. Su entrada, fue registrada a través de GPS, a los 2850 m de altura aproximadamente. La caverna fue descubierta por Tim Francis en 2006, quien hace el primer bosquejo representando un largo recorrido de aproximadamente 390 m. De épocas pleistocénica y holocena, en el valle de la caverna, se observan morenas laterales, glaciares de escombros fósiles y conos sedimentarios de avalanchas nivodetríticas recientes. Por la entrada de la caverna sale un arroyo que inunda parte de los pisos de las galerías. El presente trabajo, resultado de una expedición en el verano de 2024, describe las características geológicas e hidrológicas actuales de la caverna acorde con su interacción con el ambiente frío en el que está emplazada hoy en día, pero busca también indicadores paleoclimáticos y de permafrost. Se cree que, en el pasado, la caverna ha estado interactuando con permafrost de montaña y hasta un tiempo muy reciente. Las temperaturas dentro de la caverna fueron homogéneas mostrando, en la primera sala temperaturas entre 3,1 y 3,3 °C. Dentro de la caverna, se observan varves evaporíticos y arenas de meteorización que fueron analizados en laboratorio (anhidrita, selenita (?), y sulfatos de calcio hidratados,  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). Las primeras observaciones muestran también yeso en acículas, y en un tipo frostwork atribuible a fenómenos relacionados con paleopermafrost. Las galerías muestran espeleotemas hipogeos con micro-estalactitas de yeso y estructura nodular tipo coralino. En el exterior, indicadores de permafrost como glaciares de escombros de diferentes tipos se encuentran hoy por arriba y debajo de la entrada de la caverna. Se sostiene que el origen de la caverna, la karstificación en yeso, como también las estructuras mineralógicas estuvieron en contacto con permafrost de cueva y su génesis ha estado vinculado a varios procesos de ciclos de congelamiento y descongelamiento en el tiempo.*

## Abstract

*Las Cascadas Cave is located at the coordinates 35° 05.692' S and 70°02.979' W., in a mountain valley of the Cordillera Principal, in the region of Las Leñas, Mendoza, Argentina. The lithology of the area and the cave is gypsum that corresponds to the Auquilco Formation. Its entrance was recorded through GPS, at approximately 2850 m altitude. The cave was discovered by Tim Francis in 2006, who makes the first sketch supporting a length of approximately 390 m. Lateral moraines, active, inactive and fossil rock glaciers as well as cryogenic sedimentary slopes of nivodetritic avalanches from Pleistocene and Holocene epochs can be observed in the valley. Different types of rock glaciers are found today at altitudes above and below the cave entrance. A streamlet comes out of the entrance of the cave that floods part of the floors of the galleries. This report, as the result of an expedition in the summer of 2024, describes the current geological and hydrological characteristics of the cave according to its interaction with the current cold environment but also looks for paleoclimatic and permafrost indicators. It is argued that, in the past, the cave has been interacting with mountain permafrost and until very recent time. The temperatures inside the cave*

were homogeneous, showing temperatures between 3.1 and 3.3 °C in the first room. Inside, evaporitic varves were observed. Weathering sands (anhydrite, selenite (?), and hydrated calcium sulfates,  $\text{Ca SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) were analyzed in the laboratory. Early observations also show gypsum in needles, and in a type of frostwork attributable to paleopermafrost-related phenomena. The galleries show hypogean speleothems with gypsum micro-stalactites and coral-like nodular structure. It is argued that the origin of the cave, gypsum karstification, as well as the mineralogical structures were in contact with cave permafrost and its genesis has been linked to several processes of freezing and thawing cycles over time.

## 1. Introducción. Características Generales

La caverna Las Cascadas (Francis, 2006) se ubica en las coordenadas 35° 05.692' LS y 70°02.979' LW. Está localizada en un valle de montaña en la Cordillera Principal, en la zona de Las Leñas, departamento de Malargüe, Mendoza, Argentina. De acuerdo al Catastro Espeleológico Argentino (CEA, 2006), está a una altura de 2710 m, difiriendo de su detección actual donde su entrada fue registrada a través de GPS, a los 2850 m de altura aproximadamente (Figura 1). La caverna fue descubierta por Tim Francis en 2006 (Mendip Caving Group, 2006, Francis et al., 2012), quien hace el primer bosquejo representando un largo recorrido de aproximadamente 390 m.

El objetivo del presente proyecto, y acorde con información de campo, fue buscar hielo (permafrost) de caverna (Shumskii, 1964), para lo cual se realizó una expedición entre el 19 a 22 de febrero de 2024.



Figura 1: Vista general del área de la caverna Las Cascadas. En la parte superior del valle se observa un sistema glaciolítico de glaciar de escombros, glaciar cubierto y permafrost *in situ*, Google Earth 2017.

## 2. Geología

La litología principal de la zona es el yeso que corresponde a la Formación Auquilco, llamado “Yeso Principal” por Schiller en 1912 (*in fide* Digregorio y Ullana, 1980) que aparece en la Cuenca Neuquina con un espesor atribuido en 400 m y es típica también de la Cordillera Principal (Yrigoyen, 1980). Auquilco es de edad Oxfordiana (Groeber et al., 1953), Jurásico superior ( $161.5 \pm 1.0 - 154.8 \pm 0.8$  Ma ICS, 2022), producto de un ambiente sedimentario costero tipo sabkha (Digregorio y Ullana, 1980). El yeso jurásico forma un paisaje kárstico en la localidad, bien visible en las pendientes y cumbres del valle. Algunos lagos kársticos también aparecen cercanos a este valle.

De épocas pleistocénica y holocena, en el valle de la caverna y cercano a ella, se observan morenas laterales, glaciares de escombros fósiles y conos sedimentarios de avalanchas nivodetríticas pasados (ver Figura 2).



Figura 2: Entrada a la caverna con arroyo por el valle mencionado. Además, la foto muestra morenas y depósitos criogénicos de criometeorización por avalanchas nivodetríticas.

La Formación Auquilco es blanquecina y se encuentra estratificada (Figura 3, *bedded gypsum*) con capas más oscuras de minerales en granulometría de limos y arcillas no identificados aún. En la caverna Las Cascadas, fragmentos del yeso erosionados de la Formación quedan en granulometría

de arenas y gravas, en “repisas” de erosión y son de coloración blanquecina, gris oscura/claro y ocre (Figura 4).



Figura 3: Arriba izquierda, Sala de la caverna Las Cascadas mostrando la estratificación de la Formación Auquilco. Figura 4: Arriba derecha, diferentes fragmentos del yeso de la Formación Auquilco sobre repisas de erosión. Sobre los fragmentos hay cristales de yeso creciendo en acículas, o antoditas de yeso tipo *frostwork*.



Figura 5 y 6, galería mostrando espeleotemas hipogeos con micro-estalactitas de yeso y estructura nodular tipo coralino.

Los fragmentos observados sobre repisas de erosión podrían corresponder a los denominados varves evaporíticos (anhidrita y selenita (?), sulfatos de calcio hidratados,  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). Otros fragmentos

contienen partículas finas de coloración oscura. Minerales de yeso presentes también como nódulos son nombrados por Legarreta y Uliana (1999) en otros lugares.

Auquilco se relaciona en la Cuenca Neuquina con las calizas de la Formación La Manga.

### 3. Geocriología

La caverna de Las Cascadas se encuentra muy cercano al cinturón periglacial altitudinal actual de la Cordillera de los Andes, que contiene permafrost o suelo congelado permanentemente (Figura 7). En el valle superior de Las Cascadas, es decir por arriba de la entrada a la caverna (Figura 2) se observa un glaciar de escombros, con frente terminal a 3300 m de altura aproximadamente (Figura 8).

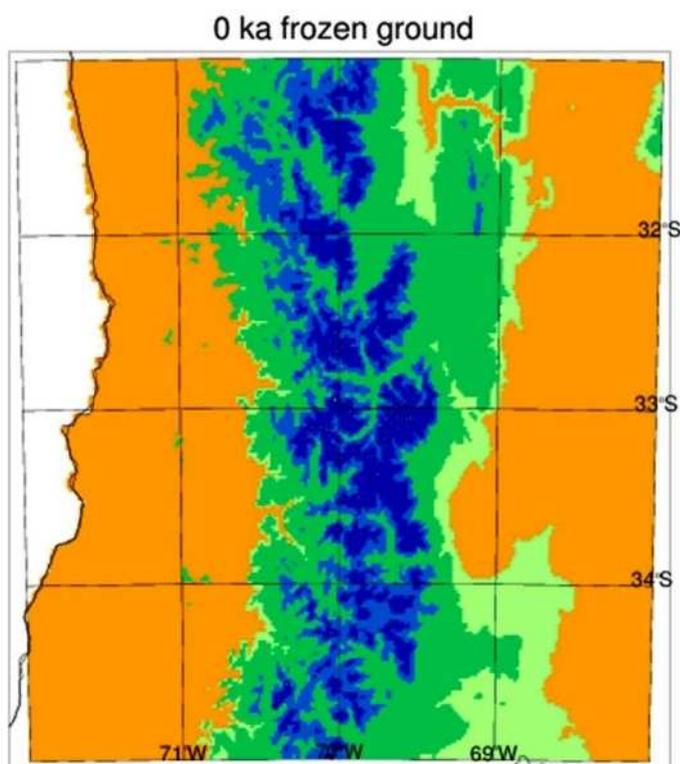


Figura 7: Modelo (Saito et al., 2015) de permafrost andino (azul y celeste). En verde oscuro se muestra congelamiento estacional intenso. Mapa de escala regional representando el cinturón periglacial altitudinal.

Por arriba de este lóbulo de permafrost reptante activo y bien conformado por actividad criogénica, hay un glaciar cubierto con estructura caótica en estado de degradación intensa con lagos de termokarst y con indicadores de permafrost reptante en su margen izquierda a modo de regolito cordado en el sentido de Trombotto et al. (2014). Se trata de figuras geomórficas deformadas y empujadas hacia el S por el cuerpo de hielo central.

El piso altitudinal de la caverna presenta intensos procesos de criometeorización. Se trata de un nivel de actividad criogénica con congelamiento estacional intenso. De acuerdo a los datos

meteorológicos que se están analizando, los procesos son de duración intraanual. Actualmente, la entrada está emplazada cercana a canaletas de avalanchas nivodetríticas activas.

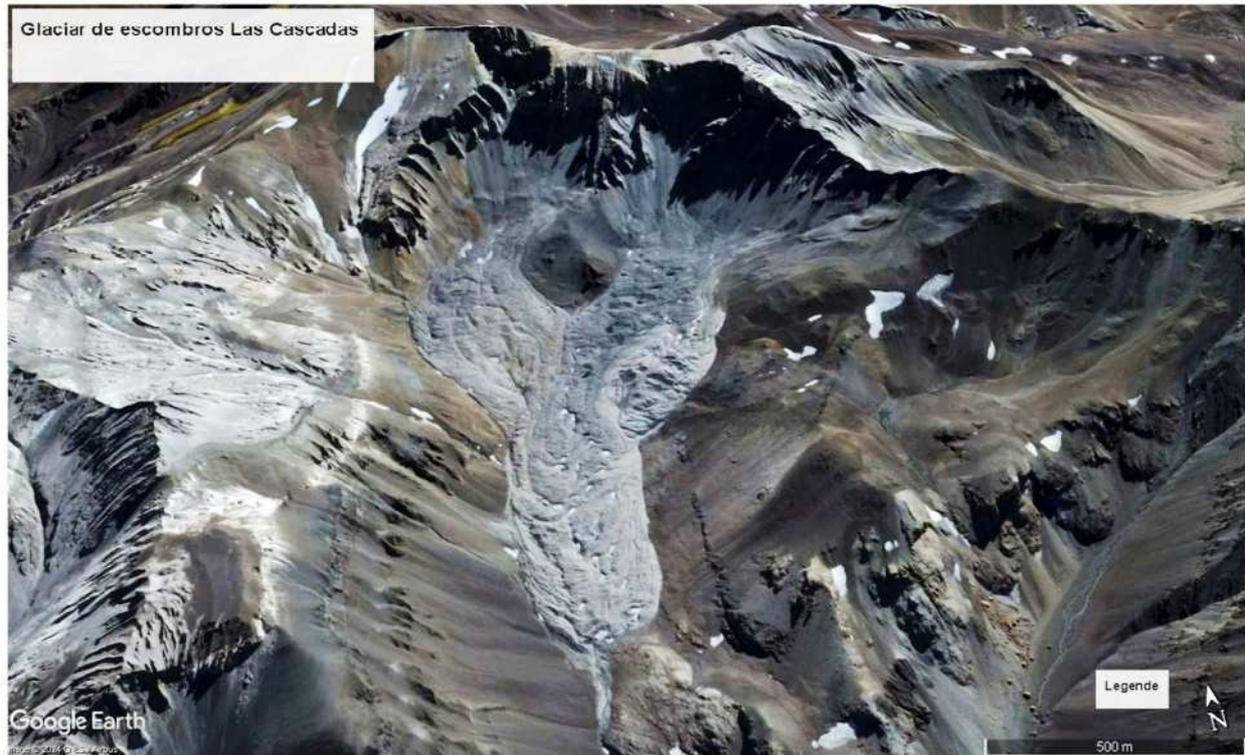


Figura 8: Glaciar cubierto a la derecha y centro de la foto, en el centro abajo el frente de un glaciar de escombros. A la izquierda y centro regolito ordenado y permafrost reptante, en transición a un glaciar de escombros. Google Earth 2017.

#### 4. Metodología

Por la entrada de la caverna sale un arroyo que inunda parte de los pisos de las galerías, por lo cual fue necesario utilizar todo el tiempo indumentaria y equipamiento de buceo. Se siguieron las técnicas tradicionales (por ejemplo, ver McClurg 1976), actualizadas. Por este motivo se recibió el apoyo de la empresa Buceo Aconcagua (Alfredo Marinaro).

Se hicieron mediciones de temperaturas del aire en la entrada de la caverna, en el exterior, y en su interior, en diferentes “pasajes y salas”, entre el 20 de febrero de 2024 al 21 de febrero del 2024. Las mediciones se hicieron con data loggers UTL tipo 3 de **GEOTEST AG.**, Berna y con termómetros digitales. El UTL interno fue colocado en una “mesa” kárstica en la primera sala y el UTL externo colgado de un caño a aproximadamente 1,5 m de altura. Los UTL fueron retirados una vez terminada la expedición. Así mismo, se calculó, en diferentes puntos, la temperatura y el caudal del agua de la corriente que sale y corre dentro de la caverna. El caudalímetro portátil utilizado fue un *flowtherm NT.2* (HLOG II), **Höntzsch GmbH**, Waiblingen. Se tomaron muestras de agua para conocer los componentes disueltos y los no solubles. También se tomaron muestras de sedimentos sueltos “secos” y en condiciones subácueas para determinar los tipos. El análisis hidroquímico fue realizado por la empresa ITAGUA SAS, Ingeniería en Aguas, Mendoza a través de la cooperación con Buceo Aconcagua.

## 5. Resultados y discusión

La figura 9 muestra la marcha de las temperaturas del aire obtenidas en el periodo de la expedición entre el 20 de febrero de 2024 al 21 de febrero del 2024.

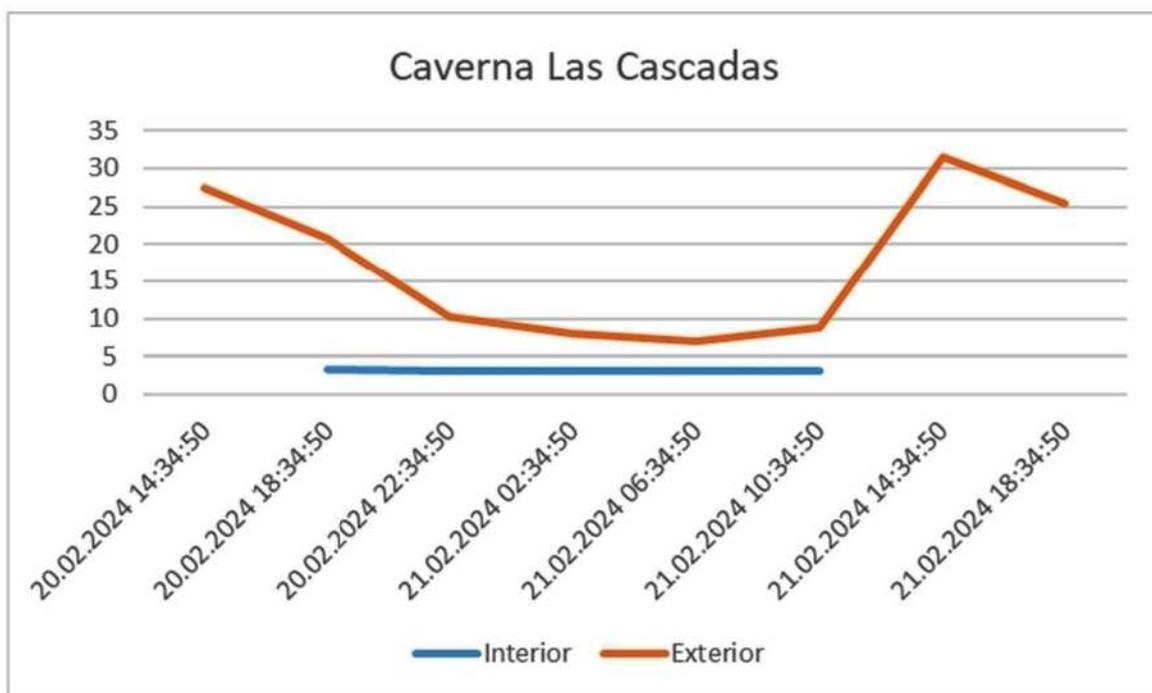


Figura 9: Temperaturas del interior y exterior de la caverna Las Cascadas

Mientras la temperatura externa mostró variaciones grandes de amplitud entre una máxima de 31,5 °C y una mínima de 7 °C, las temperaturas dentro de la caverna fueron más homogéneas mostrando, en la primera sala entre 3,1 y 3,3 °C. En la sala 2 y el *Sulphur passage* de Francis (que retiene aún un notable olor a azufre) fue de 3,3 °C. Un pasaje, terminal en la sala 2, *Meander passage* mostró una corriente de aire originada en una entrada externa o “*Nasenloch*” con una temperatura del aire en 3,1 °C. Esta entrada de aire debiera estar afectando y aumentando la temperatura de la caverna porque se ubicaría a una altitud menor.

La temperatura del agua fue homogénea en los pasajes y salas mostrando entre 3 y 3,1 °C, difiriendo ya notablemente con las temperaturas encontradas por Francis en el año 2006 (2 °C, CEA, 2006). El pH del agua es de 7,8, es decir ligeramente alcalina. El caudal máximo calculado en la entrada-salida fue de 0,4 m/s.

El total de sólidos disueltos fuera de la caverna es de 1375 mg/l, y de acuerdo al Código Alimentario Nacional (límite de 1500 mg/l), el agua sería poco potable. La conductibilidad de la muestra interna registró 1923  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , es decir alta.

Dentro de la caverna, los sulfatos en agua mostraron valores de aproximadamente 1200 mg/l. Por su lado, las mediciones de Ca y Mg arrojaron valores de 480 y 19 mg/l respectivamente. La dureza en grados franceses arroja un valor de 128, equivalentes a aproximadamente mg/l  $\text{Ca CO}_3 = 1277,01$ , muy dura.

La temperatura del suelo medida en sedimentos desagregados o sueltos, en un espesor de cm (Figura 5), en los pasajes o galerías fue de 3 a 3,1 °C, descartando la presencia de permafrost actual. Sin embargo, se remarca un pasado vinculado a permafrost de montaña con criometeorización y movilización de los minerales de sulfatos cuando se activa el derretimiento del hielo pleistocénico/holocénico produciendo innumerables acuíferos por las zonas de mayor debilidad estructural (fracturas, grietas) de la Formación Auquilco.

En un escenario actual de mayor altura, los cuerpos de hielo están en estado de fuerte derretimiento y degradación, presentando estructura caótica y lagos de termokarst, con estructuras sedimentarias periglaciales permeables marginales. Esta degradación del hielo y derretimiento de manchones de nieve, en las partes más altas del valle, sería la causa más probable de la génesis de múltiples acuíferos, algunos de los cuales podrían desembocar en la caverna. En la entrada, del lado derecho en el sentido de escorrentía, existe desde ya una cascada que contribuye con el arroyo Las Cascadas (Figura 2). Esta salida cercana, en conexión con humedales a más altura, estaría indicando una zona muy permeable de la Formación Auquilco y muy posiblemente en conexión con la caverna.

Desde el punto de vista mineralógico es desde hace tiempo conocido que los sulfatos de Ca, en zonas frías, se depositan en agujas y cristales de yeso (Jasinski, 1972). Esto se convalida con lo encontrado en las galerías y salas de la caverna construida por el fenómeno de corrosión de aguas infiltradas en la Formación Auquilco. El ascenso paleoclimático de la isoterma de 0 °C y en consecuencia la elevación de las zonas de impermeabilización con permafrost, y derretimiento de hielo glaciario en las cabeceras del valle superior, han favorecido a varios fenómenos como el de la corrosión de la Formación Auquilco en los últimos cientos a miles de años en varias ocasiones. Por otro lado, la buena solubilidad a temperaturas cercanas a 0 °C, como característica del yeso, pudo también haberse favorecido con la presencia de otras sales de la Formación (Klimchouk, 1996).

La caverna muestra la clara karstificación de la Formación Auquilco produciendo ejemplos de espeleotemas de yeso en escala menor como “micro-estalactitas” y estructuras coralinas del orden de los mm a cm de largo (Figura 6) y también se observan “coladas” o coberturas sobre las superficies de la caverna que muestran morfología ondulada o tabular. Características mineralógicas y morfologías asociadas serán estudiadas posteriormente.

## **6. Cartografía preliminar de la caverna**

En el mapa que se adjunta abajo (Figura 10 y recuadro izquierdo), se observa la interpretación del recorrido de la expedición en la caverna.

También se muestra otra dirección de flujo de agua subterráneo muy marcado en el paisaje de yeso, por debajo de un sistema de canaletas de avalancha nivodetríticas, que termina en el área de la caverna.

En el escenario externo, mientras la curva de 3300 m señala una altura actual del permafrost reptante indicando los frentes activos de los glaciares de escombros locales y permafrost posible, las morenas del valle y las marcas superiores e inferiores con meteorización y afloramientos de la Formación Auquilco delimitan antiguas posiciones glaciarias en el valle de Las Cascadas (Figura 10).

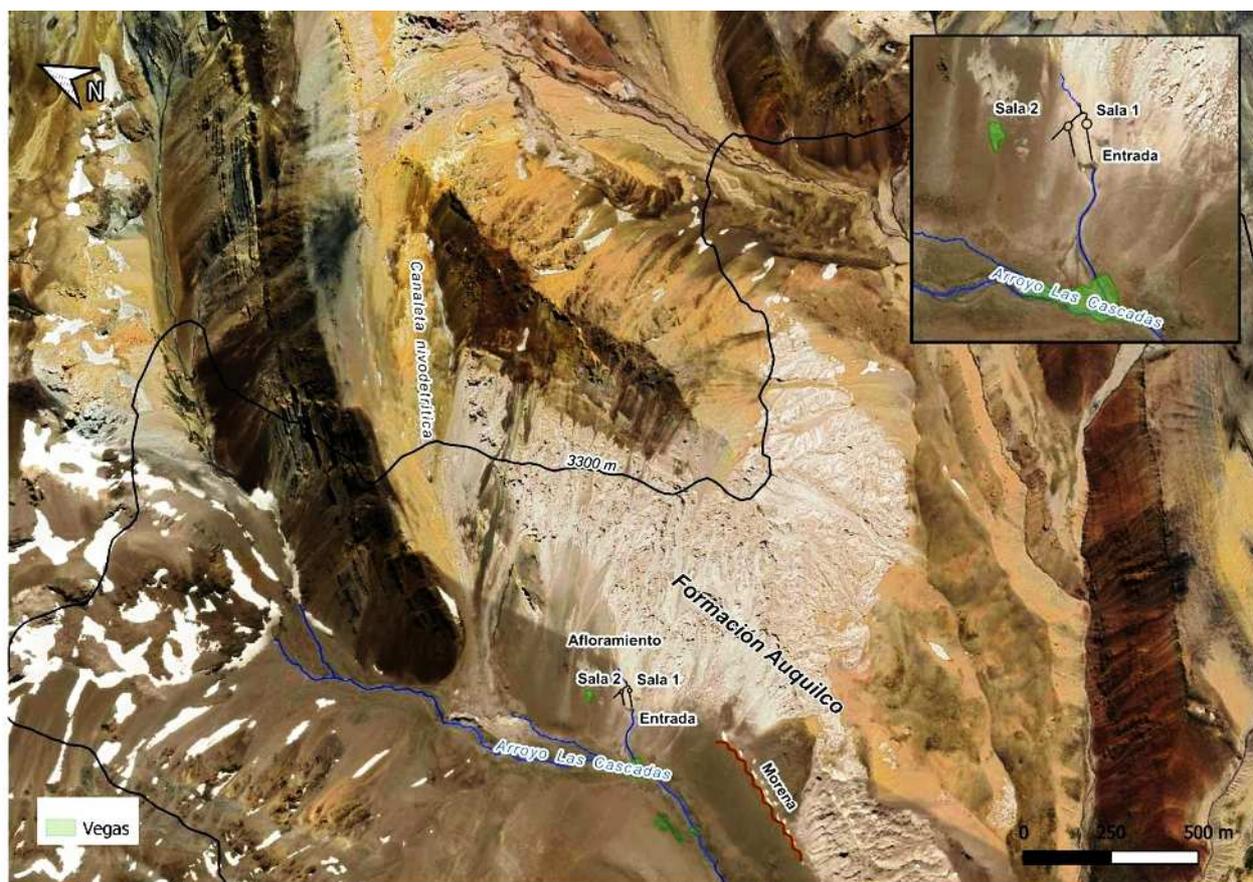


Figura 10: Valle y caverna Las Cascadas. Curva de nivel de 3300 m cercana a los frentes de los glaciares de escombros y “trimline”.

## Agradecimientos

El trabajo fue posible gracias a la ayuda en la expedición de Alfredo Marinero de Buceo Aconcagua, Mendoza, que facilitó la indumentaria y la logística para poder entrar a la caverna y fotografiarla. También agradecemos por su apoyo a Agustín Zarco (CCT CONICET Mendoza), y a Carlos Benedetto de la Federación Argentina de Espeleología, Malargüe.

## Bibliografía

- Catastro Espeleológico Argentino, 2006. **Caverna de Las Cascadas**. 3ps., Mendoza.
- Digregorio, J. y Uliana, M. 1980. **Cuenca Neuquina**. Geología Regional Argentina, tomo II, 985-1032, Córdoba.
- Francis, T. 2006. **Las Leñas**. Mendip Caving Group, Argentina 2000-2006, Occasional Publication Nr. 6: 27-31.
- Francis, T., Bennet, P & Benedetto, C. 2012. **Discovery of a new cavity in the main gypsum (Auquico Fm) in Las Leñas, Malargüe, Mendoza, Argentina**. IVº Congreso Argentino y Primero Latinoamericano de Espeleología. Malargüe, Mendoza, Argentina. Argentina Subterránea Nr. 31, p. 11 ISSN 1852-7647.
- Groeber, P. 1953. **Ándico en la Geografía de la República Argentina**. GAEA, 2 (2), Buenos Aires.
- Jasinski, M. 1972. **La Espeleología**. Editorial Hispano Europea, 123 ps., Barcelona.

- Klimchouk, A. 1996. **The Dissolution and Conversion of Gypsum and Anhydrite**. Int J. Speleol, 25 (3-4), 21-36.
- Legarreta, L. y Uliana, M. 1999. **El Jurásico y Cretácico de la Cordillera Principal y la Cuenca Neuquina**. Capítulo 16. Geología Argentina, 399-432, Buenos Aires.
- McClurg, D. 1976. **Método Práctico de Espeleología**. Ediciones Zeus, 217 ps., Barcelona.
- Saito, K., Trombotto Liaudat, D., Yoshikawa, K., Mori, J., Sone, T., Marchenko, S., Romanovsky, V., Walsh, J., Hendricks, A., Bottegal, E. 2015. “**Late Quaternary Permafrost Distribution Downscaled in South America: Examinations of the GCM-based maps with the observations**”. *Permafrost and Periglacial Processes*, DOI: 10.1002/ppp.1863.
- Shumskii, P. A., 1964. **General Geocryology. Chapter IX, Ground (subsurface) Ice**. Part 1. National Research Council of Canada, Technical Translation 1130: 118 pp.
- Trombotto Liaudat, P. Wainstein y L. U. Arenson. 2014. “**Guía Terminológica de la Geocriología Sudamericana**” / “**Terminological Guide of the South American Geocryology**”. [Vázquez Mazzini Editores](#), 127 páginas, Buenos Aires.
- Yrigoyen, M. 1980. **Cordillera Principal**. Geología Regional Argentina, tomo I, 651-694, Córdoba.

### **Cálculos por Internet**

Dureza (Centro Canario del Agua, 1999) = <https://fcc.a.es/productos-y-publicaciones/software-online/calculo-directo-de-la-dureza/>



Union Internationale  
de Spéléologie



International Union for  
Conservation of Nature

# Guías para la protección de Cuevas y Karso

## Referencia Bibliográfica:

Gillieson, D., Gunn, J., Auler, A., and Bolger, T. (editors), 2022.  
*Guidelines for Cave and Karst Protection, 2<sup>nd</sup> Edition*, Postojna, Slovenia:  
International Union of Speleology and Gland, Switzerland, IUCN. 112 pp



SPANISH LANGUAGE

*Idioma Español*

Traducido al español del original en inglés por: **Tamara González Durán** (Puerto Rico)



## ALGUNOS VALORES DEL KARSO Y CUEVAS

(1) La planificación efectiva de las regiones kársticas demanda una apreciación completa de todos sus valores económicos, científicos y humanos dentro del contexto político y cultural local.

(2) Los gestores deben reconocer que, en las cuencas kársticas, las acciones en la superficie resultan en un impacto directo o indirecto en el subterráneo y las corrientes río abajo.

(3) Es esencial el buen entendimiento de las características de las cuevas y sus valores únicos para un mejor manejo de cualquier área kárstica.

## NATURALEZA ESPECIAL DE LOS AMBIENTES KÁRSTICOS Y SISTEMAS CAVERNARIOS

(4) Es fundamental salvaguardar los procesos naturales, especialmente los sistemas hidrológicos, para la protección y gestión de los paisajes kársticos.

(5) Preeminente entre los procesos kársticos se encuentra la cascada de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en bajas concentraciones en la atmósfera externa a través de concentraciones mucho mayores en la atmósfera del suelo hasta concentraciones reducidas en los pasillos de las cuevas. Las altas concentraciones de dióxido de carbono en el suelo son el resultado de la respiración de las raíces de las plantas, la actividad microbiana y una fauna invertebrada saludable en el suelo. Esta cascada tiene que ser mantenida para la operación efectiva de los procesos de disolución.

(6) La necesidad para un manejo integral de cuencas de captación es más vital para los paisajes kársticos que muchas otras litologías.

(7) Actualmente hay relativamente pocos paisajes kársticos prístinos y los que quedan tienen la alta prioridad a ser preservados y mantenidos. En paisajes ya impactados, el foco tiene que ser la corrección de cualquier impacto negativo de pasadas o presentes gestiones de manejo.

## ESCALAS DE MANEJO EN ÁREAS KÁRSTICAS

(8) Es improbable que un sólo modelo de manejo aplicado a un complejo sistema hidrológico y kárstico (o un complejo sistema integrado de cuevas) pueda adecuadamente proteger los procesos geomorfológicos y ecológicos en curso a través de los diferentes segmentos del sistema. La planificación

del manejo tiene que tomar en cuenta la escala de factores del sistema kárstico en particular.

(9) La biología en la mayoría de las cuevas depende grandemente de las fuentes de alimento traídas del ambiente externo. El acceso al alimento y a la energía de fuentes externas es crítico para la supervivencia viable de las poblaciones de los organismos y la frecuencia y la magnitud de las entradas de energía al ecosistema de la cueva es esencial para el mantenimiento de las poblaciones de organismos.

(10) Un determinado sistema kárstico-hidrológico (o un sistema cavernario) pueden contener varios componentes o tipos de pasajes, desde pasillos activos con flujo de agua hasta pasajes inactivos en niveles superiores, como también remanentes de pasillos pobremente conectados. Cada uno requerirá un manejo particular.

(11) Dentro de un área kárstica, algunas secciones pueden ser altamente sensibles a contaminantes de aguas subterráneas mientras otras áreas podrían ser menos sensitivas. Es necesaria una planificación integral del uso del terreno para proteger los recursos hidrológicos, kársticos y subterráneos.

## ESPELEOLOGÍA RECREATIVA Y DE AVENTURA

(12) Es deseable un inventario de las cuevas como una base para el manejo. Deben ser identificadas en el mapa características de interés particular.

(13) Es deseable una evaluación de los riesgos y debe incluir conjuntos de cuevas, cavernas individuales o secciones dentro de una cueva apropiados al lugar. La evaluación debe incluir el riesgo para los humanos exploradores y el riesgo que los humanos presentan para la cueva. La vulnerabilidad de cada tipo de recurso debe ser evaluada para facilitar la identificación de cuevas o zonas con cavernas que sean apropiadas para usos particulares.

(14) El manejo del impacto de la práctica espeleológica es mejor atendida mediante un proceso de planificación estratégica con la participación de las partes interesadas. Un acercamiento apropiado requerirá una combinación de iniciativas, de las cuales una política de acceso siempre desempeñará un rol protagónico.

(15) Cualquier instructor ofreciendo aventuras cavernarias debería proveer evidencia que ha recibido entrenamiento adecuado en aspectos de seguridad y conservación de cuevas.

(16) Todas las espeleólogas y espeleólogos deberían estar familiarizados y seguir un Código Espeleológico de Mínimo Impacto (CEMI). Donde no haya un CEMI nacional o regional para un área protegida, un código específico debe ser ideado basado en los códigos publicados.

(17) La excavación, las exploraciones iniciales y las investigaciones en cuevas dentro de áreas protegidas deberían ser controladas mediante acuerdos específicos o requiriendo permisos.

(18) Se recomienda a los gestores de áreas protegidas que diseñen un plan que pueda implementarse en caso que un accidente ocurra. El plan debe trazarse con la participación del grupo espeleológico regional o nacional y las agencias estatales responsables de emergencias y accidentes. Además, debe incluir las guías para minimizar el impacto de cualquier rescate dentro de la cueva y en la superficie.

(19) Es totalmente inapropiado permitir cualquier tipo de transporte motorizado a las cuevas no turísticas, más estas nunca deben ser usadas para celebrar eventos o cualquier otro tipo de evento deportivo.

## CUEVAS TURÍSTICAS

(20) Las cuevas turísticas existentes deben manejarse con los más altos estándares y deberán trabajar de conformidad con las guías recomendadas por ISCA (siglas en inglés) junto a las guías provistas aquí.

(21) Un estudio exhaustivo tiene que realizarse para determinar la sustentabilidad ambiental y económica previo al desarrollo de una caverna como cueva turística.

(22) La seguridad tiene que ser la prioridad número uno en cada cueva turística.

(23) Determinar la capacidad de carga de visita en específico de una cueva turística es el balance entre proveer una experiencia turística segura, informativa y agradable para el visitante y minimizar el impacto en el ambiente cavernario, mientras se obtienen las metas económicas. Todos estos tres factores -experiencia del visitante, impacto ambiental y metas económicas- tienen que ser considerados.

(24) Es necesario tener un plano del lugar que presente los detalles de la superficie y de la caverna para analizar cualquier potencial impacto que tengan los trabajos superficiales sobre la cueva.

(25) Una infraestructura apropiada en la entrada de una cueva turística es esencial para mantener el ambiente natural de la caverna.

(26) En cualquier nuevo desarrollo, sea en una cueva turística existente o un nuevo lugar, las necesidades de infraestructura deben ser cuidadosamente determinadas, diseñadas e instaladas, tomando en cuenta las mejores prácticas actuales.

(27) El sistema de iluminación eléctrico en una cueva, preferiblemente debería dividirse por zonas, sólo habilitando esas partes en la caverna que están actualmente siendo ocupadas por los visitantes para que sean iluminadas eficazmente. El uso de luces debe ser minimizado a iluminar únicamente algunas formaciones y crear una experiencia que realce la experiencia del visitante.

(28) Un manejo efectivo de una cueva turística es apoyado por el monitoreo del área para permitir una gestión adaptada al lugar. Como mínimo, una agenda de monitoreo básico de la caverna debe ser programada para que incluya la fauna, el clima y las concentraciones de dióxido de carbono.

(29) Los manejadores de una cueva turística deben ser competentes en ambas destrezas de gestión de negocios en cuevas turísticas y su protección ambiental.

(30) En cualquier cueva turística los guías tienen un papel importante siendo el enlace entre la cueva y el visitante. Es esencial que los guías estén propiamente entrenados en los valores particulares de la caverna y en su interpretación para los visitantes.

(31) Todas las cuevas turísticas deben elaborar información interpretativa de alta calidad para ayudar al público a entender y apreciar mejor el ambiente cavernario.

## ACTIVIDADES DE AVENTURA Y TURISMO EN SUPERFICIE KÁRSTICA

(32) Los hábitats superficiales kársticos escabrosos y remotos podrían tener biodiversidad y geo-diversidad desconocida que debe ser recopilada y evaluada como parte de la toma de decisión en cuanto si se deben permitir las actividades de aventura y turismo sobre ellos, bajo qué condiciones y dónde.

(33) La infraestructura necesaria para apoyar actividades en superficies kársticas debe ser diseñada e instalada de forma que tenga poco impacto en el karso, tanto visual como en términos de su integridad, y de ser necesario que pueda ser removida fácilmente en el futuro, regresando el karso casi a su condición natural.

## INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

(34) Todas las áreas con cuevas y karso deben



desarrollar políticas de manejo de investigación, que sólo deben ser permitidas luego de obtener permiso y aprobación de la solicitud.

**(35)** Quienes deseen investigar en cuevas deben demostrar que están familiarizados con ambientes cavernarios y el Código Espeleológico de Mínimo Impacto Local (CEMI), o que laborarán con espeleólogos y espeleólogas experimentados que garanticen el cumplimiento del código.

**(36)** Las cavernas que tienen un plan de manejo, deben tener una sección dedicada a las actividades investigativas.

**(37)** Todos los investigadores trabajando dentro o fuera de cuevas o karso en áreas protegidas están recomendados a evaluar cuidadosamente sus propuestas, incluyendo la comparación de los beneficios potenciales con el riesgo de perjudicar el ambiente o los valores culturales.

**(38)** Debe haber énfasis en métodos de muestreo mínimo para la fauna, espeleotemas y sedimentos, más los investigadores deben comprometerse a publicar los resultados en un lenguaje comprensible al público, al igual que en medios académicos. Los investigadores deben comprometerse a remover cualquier equipo y rehabilitar el área (de ser necesario) cuando culmine el proyecto.

## AGRICULTURA Y BOSQUES

**(39)** La actividad agrícola tiene el potencial de causar significativos impactos adversos en los ecosistemas kársticos. Los manejadores de áreas protegidas deben (a) dar particular atención a cualquier propuesta de cambio de uso del terreno y (b) brindar guías apropiadas hacia el tipo de cultivo y las condiciones particulares en la superficie para minimizar el impacto en la cantidad y calidad del agua.

**(40)** Respecto al uso del terreno, la tierra cultivable requiere un cuidadoso manejo del suelo para minimizar su erosión y la alteración de sus propiedades como la ventilación, la estabilidad agregada y el contenido de materia orgánica para mantener saludable la biota del suelo. La tierra para pastar debe ser manejada para mantener la cubierta vegetal dando particular atención a los niveles poblacionales. Por ser las dolinas puntos de recarga, deben preservarse en su estado natural y no deberán ser rellenadas o usadas como basureros.

**(41)** Dondequiera que sea posible debe establecerse una zona de amortiguamiento alrededor de áreas de recarga como los afluentes que se sumergen, las dolinas u otras aperturas naturales, ya que estas son conductos para el transporte de contaminantes al subsuelo en los ambientes kársticos. En

tierras agrícolas, el arado no debe permitirse en las zonas de amortiguamiento y debe mantenerse una cubierta de capa vegetal para que filtre cualquier sedimento que escape del terreno arado. Es fundamental la preservación y el realce de la vegetación nativa en las zonas de amortiguamiento en los bosques.

**(42)** Respecto a cantidades de agua, deben establecerse controles para la cantidad de agua subterránea extraída para riego. La recolección de agua de lluvia debe emplearse al máximo posible.

**(43)** Respecto a la calidad del agua, se debe desalentar el uso de pesticidas y herbicidas a menos que sean absolutamente necesarios para controlar hierbajos y plagas. El uso de fertilizantes debe ser reducido y si es posible, fertilizantes naturales deben usarse. Las zonas de amortiguamiento en áreas de recarga tienen que respetarse y los productos químicos no deben aplicarse en momentos cuando el suelo está saturado o cerca de estarlo y pueda haber un riesgo de inundación que transporte los químicos al karso.

**(44)** Previo a cualquier actividad de extracción maderera o actividad forestal en áreas kársticas, es requerido inventariar y hacer un mapa del área, evaluar su sensibilidad y/o vulnerabilidad y desarrollar recomendaciones apropiadas de manejo. En un análisis previo debe considerarse el tipo y la magnitud de la actividad forestal, además proseguir luego con un monitoreo para asegurar cómo las recomendaciones fueron implementadas y cuán bien fueron protegidas las áreas sensibles.

**(45)** Los bosques naturales en terrenos kársticos, incluyendo árboles maduros y los bosques espesos, no deben ser completamente deforestados, ni cortados, ni sujetos a ningún impacto humano. En cambio, estos bosques deben ser rigurosamente protegidos para que el ambiente kárstico superficial y subterráneo continúe disfrutando de los beneficios de los servicios de sus ecosistemas.

**(46)** En áreas donde los bosques nativos han sido deforestados y sustituidos por otras especies, los manejadores deberán planificar el reemplazo de las especies no nativas por el tipo de bosque que se adapte mejor a las condiciones ecológicas del lugar.

## INDUSTRIAS EXTRACTIVAS

**(47)** Debe haber una presunción en contra de nuevas minas y canteras en áreas kársticas protegidas, a menos que se demuestre que no hay otra fuente alterna para cierto mineral del que hay poca oferta y que es de alto valor económico o estratégico.

(48) Cualquier propuesta para nuevas minas o canteras en el karso deben estar sujetas a una evaluación ambiental detallada que considere las características dentro y alrededor del límite del área, al igual que posibles impactos distantes por la aguas superficiales y subterráneas del karso.

(49) La evaluación ambiental debe describir y determinar los valores cavernarios, la geografía kárstica y los ecosistemas. Debe considerarse si hay sitios alternos para la extracción donde pueda haber impactos menos significativos. Donde no haya sitios alternos, debe diseñarse cuidadosamente una protección en una zona de amortiguamiento, siempre que sea posible, alrededor de cuevas y el relieve kárstico para proteger la integridad de los ecosistemas cavernarios al igual que la continuidad de los procesos hidrológicos.

(50) Cuando no hay alternativa a la destrucción, las formaciones deben ser sustraídas y, cuando sea relevante, removidas para su estudio científico – esto es registrar y remover el espeleotema y los sedimentos para estudios paleo-ambientales.

(51) Donde el desarrollo es permitido, debe haber un sistema de protección ambiental bien diseñado, al igual que un protocolo de monitoreo para documentar las condiciones durante la operación y la eficacia de la protección del sistema para que se puedan hacer cambios de ser necesarios. También deberá haber un detallado plan de cierre que incluya la apropiada restauración y el monitoreo a largo plazo, incluyendo una fianza pagada anticipadamente para asegurar que los fondos para la culminación estén disponibles.

## DESARROLLO E INFRAESTRUCTURA

(52) Todos los estudios de viabilidad para la construcción de proyectos en áreas kársticas deben incluir un examen cuidadoso de la localización proyectada, una evaluación ambiental detallada y el tamaño de la zona de amortiguamiento para su protección. Donde sea posible, mover el proyecto o desarrollo urbano fuera del área kárstica puede ser una decisión económica y ambiental positiva.

(53) Se deben desarrollar y aplicar protocolos para atender los desperdicios atmosféricos, líquidos y sólidos generados durante y después de una construcción. Estos deben ser extendidos a toda la zona kárstica crítica, la cual incluye la atmósfera, el suelo, el epikarst (epikarso) y la zona superior de los acuíferos kársticos.

(54) El desarrollo de códigos para el karso tiene que ser aplicado del mismo modo que para áreas

propensas a terremotos e inundaciones. La zonificación urbana en las regiones del karso debe tomar en consideración las especificaciones y fragilidades inherentes al ambiente kárstico.

(55) A nivel local, regional y nacional debe ser implementada una sólida legislación fundamentada en la ciencia.

(56) Deben ponerse en práctica iniciativas educativas, especialmente en países en desarrollo para colocar en conocimiento a los propietarios de tierras o a la población citadina de la fragilidad inherente de los terrenos kársticos.

(57) En áreas protegidas, la infraestructura debe mantenerse al mínimo, y si es posible, ser localizada lejos de las cuevas y relieve kárstico.

(58) Un plan de manejo apropiado para un área debe cuidadosamente sopesar los pros y los contras al construir estructuras dentro de un área, inclinándose hacia la protección ambiental y del visitante más que en proveer comodidades innecesarias. Los proyectos a gran escala dentro de cuevas deben desalentarse, a menos que sean indispensables.

(59) Los materiales peligrosos deben ser manejados con gran cuidado y debidamente regulados para minimizar escapes. Los socorristas de incidentes para materiales peligrosos deben estar capacitados con los métodos de respuesta particulares para zonas kársticas.

(60) Materiales peligrosos, sean esta gasolina, combustibles, disolventes, aguas residuales o cualquier otro desperdicio peligroso, nunca deberán ser descargados al subsuelo. La investigación hidrológica subterránea y sus remedios son extremadamente difíciles y costosos. En el mayor alcance posible, los materiales peligrosos deben ser contenidos y removidos sobre la superficie. Deben desarrollarse más investigaciones detalladas de potenciales impactos al ambiente por profesionales experimentados en el karso.

## ABASTECIMIENTO DE AGUA

(61) Delimitar las zonas de amortiguamiento para la protección de fuentes hidrológicas como los manantiales, pozos y cuevas. Se deben desarrollar en estas áreas protegidas protocolos para las prácticas agrícolas y el adecuado uso de fertilizantes y el control de la extracción de agua. Varios esquemas para implementar manantiales como zonas protegidas han sido propuestos, pero sólo han sido ampliamente aplicados en Europa y EE.UU.

(62) Las iniciativas educativas deben promover la concientización de los dueños del terreno y al ciudadano ordinario en relación con las especificidades

del ambiente kárstico para evitar un descarte inapropiado de basura sólida, sanitaria o peligrosa.

**(63)** Debe establecerse un sistema robusto de monitoreo en manantiales primordiales y pozos seleccionados en sistemas de acuíferos kársticos susceptibles y altamente utilizados. El monitoreo remoto de alta resolución a largo plazo está disponible en muchos manantiales y debe ser implementado más ampliamente.

**(64)** Los países deben tratar el agua del karso como un recurso frágil y finito implementando leyes para controlar y disciplinar la extracción del agua, como también permitir el financiamiento apropiado para respuestas inmediatas en caso de contaminación. En particular, deben ponerse en práctica las recomendaciones del diseño adecuado de pozos sépticos y la localización de vertederos.

**(65)** Debido a que poco se conoce del efecto de muchos contaminantes en ambientes kársticos, debe estar disponible el financiamiento apropiado para adelantar el entendimiento científico en este tema, desarrollando un monitoreo y una mitigación efectiva.

### **MONITOREO EFICAZ Y MITIGACIÓN**

**(66)** El monitoreo es una herramienta esencial en el manejo y protección de cuevas y recursos kársticos, especialmente en áreas protegidas. Los resultados del monitoreo continuo pueden usarse para un manejo informado y para mitigar impactos.

**(67)** Los esfuerzos del monitoreo deben enfocarse priorizando los recursos naturales basados en su valor o significado, en su vulnerabilidad o fragilidad o en la severidad de una anticipada o presente amenaza o impacto.

**(68)** La contaminación de acuíferos subterráneos presenta problemas especiales en el karso y siempre debe minimizarse y monitorearse. El rastreo debe ser por eventos específicos en vez de sólo intervalos regulares, ya que la concentración de disolventes y contaminantes químicos son comúnmente elevados durante períodos de bajo flujo. De todos modos, es durante tormentas de lluvia e inundaciones que la mayor cantidad de contaminantes es transportada a través de los sistemas kársticos.

**(69)** Hay que evitar el monitoreo frecuente en áreas frágiles, a menos que sea críticamente necesario, porque esto puede generar su propio impacto. Debe ser priorizado el monitoreo automático, si es factible.

**(70)** Mientras reconocemos la naturaleza no renovable de los recursos kársticos, particularmente

en las cuevas, un buen manejo demanda que los recursos dañados puedan ser restaurados mientras sea posible.

**(71)** Cuanto sea posible, los procesos y sistemas naturales en el área del karso deben mantenerse o restaurarse. De ser necesaria una intervención, el uso de soluciones naturales, especialmente aquellas que trabajen en armonía con los procesos naturales son más ambientalmente sustentables que las soluciones químicas artificiales.

### **PARTICIPACIÓN DE LOS PUEBLOS INDÍGENAS EN EL MANEJO DEL KARSO**

**(72)** En cualquier área protegida en la que existan pueblos indígenas, es necesario que haya una base legal y política para establecer un sistema de manejo colaborativo con un comité de manejo local. Los principales interesados y poseedores de derechos del comité son los residentes locales y las autoridades de manejo en áreas protegidas, siendo secundarias en su interés las agencias gubernamentales pertinentes.

**(73)** En aquellas áreas kársticas protegidas donde hay pueblos indígenas, tiene que haber una zonificación del terreno participativa, basada en el conocimiento tradicional y el derecho consuetudinario. Idealmente esto debe incluir zonas de uso controlado donde alguna actividad económica es practicada y áreas totalmente protegidas donde la conservación de la naturaleza es el objetivo primario.

**(74)** Quienes administren parques donde haya pueblos indígenas, deberán desarrollar acuerdos de co-manejo con las comunidades locales y redactarlos en un lenguaje apropiado para que la comunidad tenga un área claramente definida para su manejo y actividades económicas.

**(75)** Quienes manejen un parque donde haya pueblos indígenas deberán involucrar a los lugareños en las actividades de manejo en las áreas protegidas. Las tareas de guarda-parque y guía turístico en cuevas o caminatas en el karso, proveen una significativa oportunidad de empleo y pueden ayudar a empoderar a la comunidad local. Es esencial que los programas para educar a guarda-parques o guías deban preferiblemente ser en el lenguaje que la mayoría de los visitantes usa y en historia natural.

**(76)** Un requisito central para una mejor práctica de manejo es la necesidad de proveer información correcta, científica y precisa a los visitantes y facilitar investigaciones relevantes y de bajo impacto.

# Anomia en la protección de las cavidades naturales

Carlos Benedetto

Federación Argentina de Espeleología – FAdE

[carlos\\_benedetto@fade.org.ar](mailto:carlos_benedetto@fade.org.ar)

## **Resumen:**

*Mendoza y Neuquén son las únicas provincias que cuentan con legislación específica para la protección del patrimonio espeleológico: leyes 5978/93 y 2213/97 respectivamente. La segunda está mal redactada y sin tener en cuenta que las cavernas son activos ambientales y arcas de biodiversidad y no está reglamentada. La primera está reglamentada parcialmente. Ambas tienen deficiencias en su aplicación, en tanto no están pensadas para un turismo sustentable. En Mendoza los actores sociales asociados carecen de capacitación en los parámetros ambientales específicos, importantes para la Biogeografía Histórica y las consiguientes reconstrucciones paleoclimáticas. El Espeleoturismo se ha desarrollado sin estudios de impacto ambiental ni planes de manejo ni monitoreos espeleológicos en las provincias de Salta, Córdoba y Mendoza. En Neuquén sólo avanza el turismo informal; la Dirección Provincial de Áreas Naturales Protegidas es una dependencia del Ministerio de Turismo, lo que afecta al Sistema Cavernario Cuchillo Curá, uno de los más importantes biológicamente. En ese sistema hay superposición de jurisdicciones, en tanto la autoridad de aplicación de la ley 2213 es el Ministerio de las Culturas. Se plantea la necesidad de crear una ley nacional de presupuestos mínimos que incluya a Mendoza y Neuquén, pero también a todas las provincias que están en el catastro espeleológico de los espeleólogos. Se anexan cuadros con el mencionado catastro, solo de las provincias mencionadas.*

**Palabras clave:** Arcas de biodiversidad, parámetros ambientales espeleológicos, espeleogénesis, fauna hipogea, afotia

## **Abstract**

*Mendoza and Neuquén are the only provinces that have specific legislation for the protection of speleological heritage: laws 5978/93 and 2213/97 respectively. The second is poorly drafted and without taking into account that caves are environmental assets and arks of biodiversity and is not regulated. The first is partially regulated. Both have deficiencies in their application, as they are not designed for sustainable tourism. In Mendoza, the associated social actors lack training in the specific environmental parameters, important for Historical Biogeography and the consequent paleoclimatic reconstructions. Speleotourism has been developed without environmental impact studies or management plans or speleological monitoring in the provinces of Salta, Córdoba and Mendoza. In Neuquén, only informal tourism is advancing; the Provincial Directorate of Natural Protected Areas is a dependency of the Ministry of Tourism, which affects the Cuchillo Curá Cave System, one of the most important biologically. In this system there is overlapping jurisdictions, while the authority for the application of Law 2213 is the Ministry of Cultures. The need to create a national law of minimum budgets that includes Mendoza and Neuquén, but also all the provinces that are in the speleological registry of speleologists, is raised. Tables with the aforementioned cadastre are attached, only for the aforementioned provinces.*

**Keywords:** Biodiversity arks, speleological environmental parameters, speleogenesis, hypogean fauna, aphotia

## **Introducción.**

El grupo principal de la FAdE es el IN.A.E. (Instituto Argentino de Investigaciones Espeleológicas), que fue fundado en junio de 1990 con el auspicio de la Comisión de Recursos Naturales y Conservación del Ambiente Humano de la H. Cámara de Diputados de la Nación, entonces a cargo

del diputado Héctor Dalmau. Fue el inicio del primer expediente de legislación nacional espeleológica (TP Nro. 39/90), que sufriría muchas modificaciones y luego expiraría, pero que sería tomada de manera no crítica en 1997 por colegas neuquinos para dar forma a la Ley Provincial 2213, actualmente vigente, pero no reglamentada y mal aplicada.

En 1992 el IN.A.E. redactó un nuevo proyecto nacional, más simplificado, bajo el auspicio de la misma Comisión (TP Nro. 84/92), y ese mismo año participamos en Mendoza de la redacción de lo que luego sería la Ley Provincial 5978/93, cuyo impulsor fue el entonces diputado provincial (luego intendente, Senador Nacional y gobernador Celso Alejandro Jaque).

Las leyes 5978/93 (Mendoza) y 2213/87 (Neuquén) son las únicas específicamente espeleológicas en vigencia en el país, justamente en las provincias que, entre ambas, reúnen el 90% de las cavernas hasta ahora catastradas en todo el país.

En estas dos provincias se encuentran además las dos primeras Áreas Naturales Protegidas específicamente espeleológicas en Argentina: Cuchillo Cura (Las Lajas - Neuquén) y Las Brujas (Malargüe - Mendoza). Fuera de la Cuenca Neuquina hay llamativas formaciones kársticas (espeleológicas) en las provincias de San Juan, Salta, Córdoba, etc., provincias en las que no existe legislación específica ninguna. El proyecto original de la ley nacional 1990 fallida, luego provincial 2213-Neuquén, como asimismo la ley mendocina 5978 y las reglamentaciones de ambas pueden encontrarse en (1)

Luego, en ocasión de los trabajos de campo a que se hace referencia en los Números 32 y 33 de esa misma publicación, tuvimos oportunidad de entrevistar en la provincia de Neuquén a la senadora nacional Nanci Parrilli (2)(3). El motivo de la visita a la entonces legisladora era someter a consulta un proyecto de Ley Nacional de Espeleología que había sido propuesta por el senador Roberto Basualto en 1998, lo que fue ocasión para exponer los proyectos presentados en 1990 y 1992 por el Instituto Argentino de Investigaciones Espeleológicas (IN.A.E.) y que en su momento caducaron, según relatamos al principio.

Fue ocasión para conversar sobre las debilidades de la Ley Neuquina 2213 y de la Ley Mendocina 5978, como asimismo de la anomia imperante en otras provincias, y la importancia de profesionalizar la espeleología mediante la creación de una tecnicatura o diplomatura, tema éste que es desarrollado en otra exposición.

Como producto de esas conversaciones surgió la inquietud de lanzar una convocatoria amplia para avanzar hacia una “Ley Nacional de Presupuestos Mínimos para el Ejercicio de la Espeleología y el Manejo de las Cavidades Naturales”. Asimismo, se estaba discutiendo la importancia de, dada la anomia imperante en todas las provincias espeleológicas, debería buscarse la forma de vincular nuestras normativas a la Ley General de Ambiente de la Nación 25.675. En ninguna de las dos provincias las acciones judiciales iniciadas por los espeleólogos para que las leyes ambientales sean interpretadas a esa esa de presupuestos mínimos dieron resultado.

Ya desde 2008 la FAdE venía subrayando la importancia de que la Espeleología se abra a otros espacios en los que se trabaja para cuidar no sólo los ambientes hipogeos, sino también los epigeos que los contienen. En ese sentido, la protección del recurso agua es vital para el desarrollo de nuestra actividad por razones obvias que atañen a las distintas espeleogénesis y al mantenimiento de parámetros ambientales que faciliten la conservación de la fauna hipogea.

Lo que se ha verificado en nuestra práctica espeleológica de los últimos 44 años, es que hay un estado de anomia, o bien por incumplimiento de las leyes provinciales mencionadas, o bien por incumplimiento defectuoso, o por desconocimiento de las mismas por parte de los propios funcionarios de los tres poderes del Estado, según pudimos constatar reiteradamente. En otras provincias no hay leyes y los funcionarios no atinan a valerse de legislaciones análogas o a tener en cuenta, simplemente, la Ley Nacional 25675. Quizás por no poder reconocerse que las cavidades naturales son activos ambientales sino sólo recursos económicos, sobre todo turísticos.

En el caso de la Caverna de Las Brujas, área natural protegida según ley provincial 5544/89, no está tipificada según ley provincial 6045, que es posterior a la ley de creación del área, por lo que no puede elaborarse un PLAN DE MANEJO y su correspondiente PROTOCOLO DE SEGURIDAD,

lo que hace que el turismo que allí se practica sea del todo irregular y riesgoso, tanto para los visitantes como para el ambiente hipogeo, todo ello con anuencia de las autoridades municipales y provinciales (4)

Respecto de las provincias que carecen de legislación específica, debe remarcarse que, hace 20 años, un Director de Minería bonaerense ordenó dinamitar la cueva que fue la última morada del Cacique Catriel (Sierras Bayas, Olavarría), porque la misma molestaba al proyecto de extracción de calizas para la fabricación de cemento y ello a pesar de su valor histórico y potencial atractivo turístico para la comunidad. En este caso, el recurso cueva tenía importancia histórica y el turismo aparecía como actividad de divulgación científica y protección a la vez. Podríamos decir que era un activo socio-ambiental.

De la misma manera desaparecieron, en cercanías de La Falda, Córdoba, la Cueva de la “Y”, la Cueva Chica y otras, a comienzos de los años '80.

En Salta, a fines de 2013, no se autorizó el muestreo mineralógico de la Cueva Puente del Diablo (La Poma) por parte del especialista anglo-norteamericano George Brook (Universidad de Georgia-EEUU); en diálogo telefónico, el funcionario actuante reconoció desconocer el tema y oponerse a las actividades del científico debido a su nacionalidad. Nuestros reclamos por trato discriminatorio ante la Dirección de Derechos Humanos de esa Provincia nunca tuvieron respuesta.

Esto refuerza nuestra iniciativa de crear espacios universitarios para estudiar la evolución de paleoclimas y paleoambientes, no sólo en cuevas, sino también en glaciares, como asimismo la existencia de fauna adaptada a los parámetros ambientales de las cuevas,

Disponemos de profesionales en el exterior que contribuirían ad honorem en esas formaciones profesionales y hemos intentado crear los mismos en la Universidad Nacional de Cuyo (2011 y 2015), en el ISTEEC (Instituto Superior Técnico de Estudios Económicos de Cuyo, 2015), en el IES-9018 de Malargue (2015) y en la Universidad Nacional del Comahue (2020 a 2022), sin éxito.

La protección de los espacios subterráneos requiere de una legislación específica y de profesionales formados al efecto, ello en tanto los parámetros ambientales de las cavidades naturales (hipogeos) difieren de los de superficie (epigeos):

oscuridad permanente, sin alternancia día-noche y por lo tanto, sin fotosíntesis. La fauna allí desarrollada suele ser endémica e incluso entran en la categoría de “fósiles vivientes” en virtud de ser descendiente, en nuestro Hemisferio, de fauna gondwánica. Los animales subterráneos carecen de ojos y de pigmentación melánica por causa de este parámetro, lo que los hace extremadamente vulnerables.

temperatura constante, casi sin amplitud, lo que hace que dichos organismos no posean órganos para adaptarse a los cambios de temperatura

humedad alta constante, en contraste con la sequedad de las zonas áridas en que se encuentran. Esta circunstancia hace doblemente atractivo el problema, en tanto se trataría de avanzar hacia los “estudios de biodiversidad en zonas áridas”.

temperatura constante: la temperatura permanente de las cuevas suele ser la misma que el promedio de la superficie. Los organismos allí vivientes no tienen la capacidad de adaptarse a variaciones de temperatura muy bruscos.

Las cavernas en caliza poseen información, en sus espeleotemas, específicamente las estalagmitas, sobre paleomagnetismo, paleosismicidad y en general paleoclimas y paleoambientes, en la misma medida que los glaciares y los lechos marinos.

La cavernas kársticas, tanto en yeso como en caliza, se forman gracias al agua, y todo proyecto económico que suponga uso excesivo de agua o contaminación de las mismas, puede ser letal para el medio hipogeo.

Se requiere, entonces, de una Ley de Presupuestos Mínimos específica que sea nacional y que sea un parámetro igualitario para todas las provincias, o sea para las dos provincias con legislaciones defectuosas y el resto de las provincias que carecen de legislación.

Los errores que se están cometiendo en las cavidades naturales en general y en las que fueron convertidas en reservas en particular han sido motivo de denuncias que pueden verse en la web oficial de la FAde (4) y fueron motivo de publicaciones periodísticas diversas, (5)(6) (a-m)

En anexos se adjuntan el proyecto producto de las conversaciones de marzo de 2013 en la capital de Neuquén con la ex senadora Nanci Parrilli, todo lo cual fue luego discutido en el Congreso Argentino de Espeleología en Malargüe 2016 (3), y que deberá rediscutirse a la luz de los nuevos paradigmas que han ido surgiendo para la protección del ambiente .

Citas:

<http://fade.org.ar/images/prod/OYqRKJMeLT1H0bfktWLEnjf5vd5k56.pdf>

<http://fade.org.ar/images/prod/NSZpb58vkiBFcRAAqjRfOxHc6dqWI.pdf>

<http://fade.org.ar/images/prod/UpgwjdNwnq686m7J3WQLoBq2qCG3Um.pdf>

[www.fade.org.ar](http://www.fade.org.ar)

<https://marcelosapunar.com/2024/06/11/seguimos-sin-tener-claro-que-se-protege-en-las-areas-protegidas-de-mendoza-carlos-benedetto/>

<https://marcelosapunar.com/page/2/?s=Carlos+Benedetto>

Denuncias publicadas sobre las áreas protegidas espeleológicas de Mendoza y Neuquén:

<https://piramideinformativa.com/2019/01/que-protegemos-en-las-areas-protegidas-por-carlos-benedetto/>

[https://piramideinformativa.com/2022/08/paro-de-guardaparques-las-brujas-sigue-siendo-una-sangria-para-malargue-carlos-benedetto-carlos\\_benedettofade-org-ar/](https://piramideinformativa.com/2022/08/paro-de-guardaparques-las-brujas-sigue-siendo-una-sangria-para-malargue-carlos-benedetto-carlos_benedettofade-org-ar/)

<https://marcelosapunar.com/2022/11/11/que-protegemos-en-las-areas-protegidas-por-carlos-benedetto/>

<https://marcelosapunar.com/2022/11/14/privatizacion-y-violencia-institucional-ya-no-tan-encubiertas-de-las-brujas-melchor-ojeda-y-los-guias-de-turismo-ya-estan-instalando-un-kiosco/>

<https://marcelosapunar.com/2022/11/18/en-las-cavernas-de-neuquen-se-estan-haciendo-cosas-peores-que-aqui-por-carlos-benedetto/>

<https://marcelosapunar.com/2022/11/24/por-que-en-neuquen-las-areas-protegidas-estan-mas-abandonadas-que-nunca/>

<https://marcelosapunar.com/2022/12/02/malargue-es-tierra-de-nadie-por-carlos-benedetto/>

<https://marcelosapunar.com/2022/12/31/la-justicia-neuquina-ordena-las-areas-protegidas-por-carlos-benedetto/>

<https://marcelosapunar.com/2023/04/02/robo-de-una-piedra-preciosa-en-las-brujas-un-nuevo-reclamo-por-carlos-benedetto/>

<https://marcelosapunar.com/2023/04/08/la-fade-vuelve-a-pedir-judicialmente-el-cierre-de-caverna-de-las-brujas-pero-el-procurador-es-hombre-del-palo-de-cornejo/>

<https://marcelosapunar.com/2023/08/13/vamos-camino-a-la-privatizacion-de-las-areas-protegidas-carlos-benedetto/>

<https://marcelosapunar.com/2023/08/17/espeleologos-contra-la-depredacion-de-la-caverna-de-las-brujas-por-carlos-benedetto/>

<https://marcelosapunar.com/2024/06/11/seguimos-sin-tener-claro-que-se-protege-en-las-areas-protegidas-de-mendoza-carlos-benedetto/>

Trabajo presentado en Julio de 2024 en la Mesa 26 del I Congreso de la Tierra, Facultad de Ciencias Sociales—UBA, Buenos Aires .... <https://lunacyc.org/congresos/> - <https://lunacyc.org/wp-content/uploads/2024/12/actas-congreso-de-la-tierra.pdf>



# RESUMEN CONCEPTUAL DEL MODELO TERMODINÁMICO DE DESARROLLO DEL KARST (MTDK)

Leslie F. Molerio-León

*Sección de Medio Ambiente, Sociedad Económica de Amigos del País (Cuba)*

INVERSIONES GAMMA, S.A.

Apartado 6246, CP 1066, Habana 6, La Habana, Cuba

E-mail: [especialistaprincipal@gmail.com](mailto:especialistaprincipal@gmail.com)

## RESUMEN

*La aproximación termodinámica de no equilibrio desarrollada por el autor se basa en el principio de considerar al karst un sistema abierto, autorregulado, con producción creciente de entropía, irreversible y sometido a acciones aleatorias. El modelo conceptual y la descripción general de los algoritmos que lo componen se describen cualitativamente en este resumen.*

**Palabras clave:** cuevas, entropía, karst, termodinámica

## ABSTRACT

*The non-equilibrium thermodynamics approach developed by the author considers karst as an open self-regulated system with increased entropy production, non-reversible under random actions. The conceptual model and the general description of the corresponding algorithms are described in this contribution.*

**Key words:** Caves, entropy, karst, thermodynamics

## INTRODUCCIÓN

Motivado por la necesidad de disponer de instrumentos conceptuales y metodológicos que contribuyeran a enfrentar con éxito tareas de ingeniería geológica e hidrogeológica en el karst, el autor ha dedicado una atención sistemática preferencial a la estructuración de un modelo de desarrollo del karst basado en principios físicos que, parcialmente, ha ido transformándose en modelos matemáticos que reducen la incertidumbre en la siempre dominante y polémica apreciación cualitativa del complejo escenario del karst.

Los resultados obtenidos con esta aproximación termodinámica han sido muy satisfactorios desde que en 1975 expusieramos las primeras ideas en un documento, casi programático para nuestro grupo de trabajo, escrito en colaboración con Julio J. Valdés Ramos (Molerio y Valdés, 1975) que luego sirvió de guía, en no poca medida, para la orientación de las investigaciones nuestras y de muchos de nuestros colegas (Molerio, 2005).

El modelo, en su conjunto, es el resultado de un esfuerzo de creación colectiva al que se han ido incorporando los beneficios de los estudios de muchos otros investigadores engarzados en la caracterización cuantitativa del karst, sus fenómenos, el aprovechamiento de sus recursos y en la solución de problemas ingenieros concretos. A 50 años de la muy modesta presentación en un evento estudiantil de la entonces Escuela de Geofísica en la actual Universidad Tecnológica de La Habana -gracias al auspicio y estímulo por el desaparecido Prof. Gral. Brig. Pedro J. Astraín-, se presenta este resumen de la estructura del modelo con algunos comentarios sobre sus aplicaciones.

En tanto construcción colectiva, el modelo se ha pertrechado y beneficiado del conocimiento acumulado por decenas de estudios con similar intención. Desarrollado primariamente sobre la base de la experiencia del autor en Cuba, la colaboración activa de muchos colegas y amigos han enriquecido y mejorado los conceptos que en él se consideran. La oportunidad de estudiar los

karsts de otras regiones geológicas y climáticas y de intercambiar con otros investigadores ha sido en extremo provechosa para ampliar la perspectiva del autor respecto a la visión del karst como sistema. Mi agradecimiento se enumera en el apartado correspondiente de este artículo.

Desde entonces, el autor ha dedicado una atención especial a la estructuración de un algoritmo capaz de pronosticar la posición y distribución espacial, la geometría interior y el desarrollo, en tiempo y espacio, de la evolución del karst y, en particular, de las redes de cavernas y conductos cárnicos.

Algunos resultados parciales de esta investigación han sido adelantados oportunamente [ver bibliografía) y se han orientado a:

- a) Simular, con un variable grado de certidumbre, el desarrollo natural de cavernas y conductos cárnicos y pronosticar su posición en el espacio.
- b) Simular y pronosticar el desarrollo de carsificación y cavernamiento inducidos en la vecindad de obras hidráulicas.
- c) Pronosticar la posición de manantiales cárnicos y zonas de descarga natural de las aguas subterráneas.
- d) Identificar las zonas de vulnerabilidad geomecánica en los sistemas cárnicos.
- e) Orientar la captación de las aguas subterráneas en zonas cárnicas.
- f) Mejorar sustancialmente el conocimiento de los patrones y direcciones de flujo en los acuíferos cárnicos y, en particular, en el epikarst.
- g) Contribuir a la protección adecuada de las captaciones y de los manantiales cárnicos.
- h) Contribuir a orientar o reorientar la exploración espeleológica en sistemas cavernarios complejos

## **LA DEFINICIÓN CLÁSICA DEL KARST**

Fue Jovan Cvijic (1893, 1918 entre otras obras) quien ordenó los primeros conceptos alrededor del karst y la carsificación en tanto Martel (1896) concentró sus esfuerzos de investigación en el desarrollo y formación de las cavernas. Definía Cvijic (1893):

*“La superficie de muchas zonas de roca caliza se caracteriza por formas huecas cerradas...Son estas numerosas pequeñas depresiones redondeadas o dolinas, valles alargados sinuosos o valles ciegos, y valles anchos y largos o poljes...Además, la superficie rocosa de estas zonas suele mostrar surcos profundos y estrechos, separados por crestas afiladas; estos son los karren. En el interior de las masas calizas se presentan formas verticales y horizontales. A menudo tienen extensas cuevas, que con frecuencia contienen ríos subterráneos. Todas estas formas contrastan con las de las rocas impermeables y deben su formación a que se producen por disolución debido al efecto que directa o indirectamente ejerce el dióxido de carbono en el agua atmosférica sobre la caliza. Por lo tanto, estas formas se forman típicamente en calizas desnudas...”*

Y Martel (1896) dejaba claro que *“las cavidades naturales solo se encuentran en formaciones geológicas compactas pero fisuradas...las principales causas de su formación son la preexistencia de grietas en las rocas y el trabajo de las aguas de filtración...”*

Martonne (1913), por citar sólo a uno de los geomorfólogos clásicos, sugería, a principios de este siglo, la individualización del *“relieve calcáreo”*, no hizo otra cosa que confirmar una independencia ya notada por los primeros exploradores del karst. Porque si bien es cierto que puede hablarse de una *“morfología granítica”*, *“de esquistos”* o de *“relieves volcánicos”*, ninguna es tan típica y compleja como la morfología de las calizas, el *“krs o karst”*, sobre todo, por las modificaciones tan notables que produce en el relieve superficial e, incluso, en el subterráneo. Posee además, una físico-química singular, y una hidrodinámica que le es propia. De ahí su exclusividad.

Evidentemente se trata de un fenómeno universal. Aunque las cifras varían, puede convenirse en que alrededor del 20% de las tierras emergidas del planeta, por razón de su constitución carbonatada, están en mayor o menor grado afectadas por procesos de carsificación (Fig. 1).

Potentes acuíferos o regiones áridas, importantes reservas de petróleo, gas y otros minerales o una absoluta pobreza en estos recursos, presencia de suelos aptos para el cultivo o terrenos insanos se encuentran, indistintamente, en estos territorios (Ford y Williams, 2007; Andreu et al., 2016).

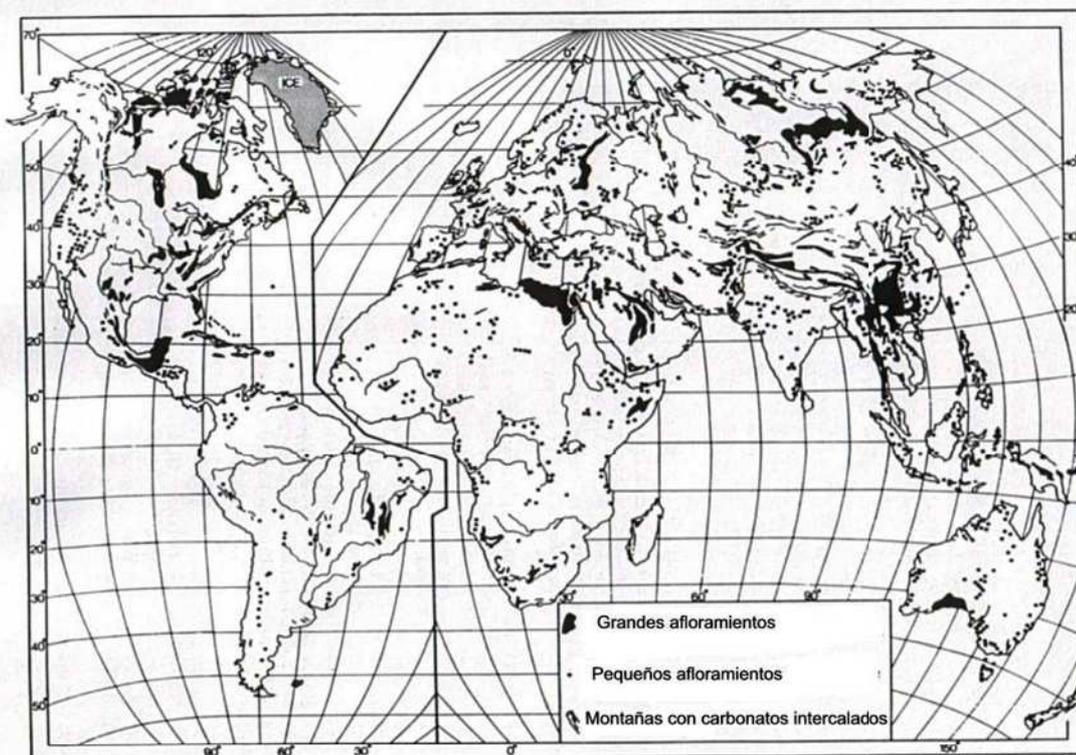


Fig. 1. Distribución mundial de las rocas carbonatadas (Ford y Williams---

El karst se origina como consecuencia de complejos mecanismos de erosión, entendida ésta en su sentido más amplio, transporte y deposición de los residuos, dentro o fuera del macizo carbonatado. El agua -superficial y subterránea- actúa como agente de transferencia en los procesos, de manera que la dinámica general de la carsificación se centra en el modo en que se organiza, distribuye y desarrolla el movimiento de las aguas (Tabla 1).

Señalaba Martonne elegantemente que *“la originalidad del relieve calizo es tal, que parecen faltar en el las leyes ordinarias del modelado de la erosión. Ninguna subordinación regular en los valles, ningún sistema de pendientes continuas descendiendo hasta el nivel de base; a menudo depresiones cerradas que es imposible atribuir al trabajo de las aguas corrientes. Para explicar estas formas es preciso vislumbrar todo un nuevo conjunto de procesos erosivos. No se trata de modificaciones de detalle en la evolución del ciclo de erosión normal; es preciso abrir un amplio paréntesis y dejar un lugar aparte al “relieve calizo...”*.

Para designarlo genéricamente, se adoptó el nombre de una región oriental de la Mar Adriático, conocida indistintamente como **“Karst”** cuando pertenecía al imperio Austro-húngaro; **“carso”**, a Italia, hasta 1945, o **“Krás”**, a la antigua Yugoslavia. Regiones con características semejantes eran denominadas en Francia como **“Causses”** y en América Central y el Caribe, tal vez el nombre de Cuba, de provenir del arawaco **“ciba”**, piedra hueca, pudiera representar una denominación antiquísima para designar el karst.

Así, las características morfológicas e hidrológicas que hacen de los relieves cársicos un entorno singular (Fig. 2), son las siguientes:

1. Ausencia de valles verdaderos, los que están sustituidos por otras formas negativas del relieve, que reciben nombres particulares: dolinas, poljes (Fig. 3), uvalas, entre otros
2. Una red de drenaje superficial que, aunque de variables dimensiones, generalmente está mal desarrollada, distorsionada a trechos y donde la mayor parte de los ríos tienen cursos parcial o totalmente subterráneos

3. Una red de drenaje subterránea de compleja configuración, regida por leyes hidrodinámicas particulares, o con acuíferos muy típicos, a veces extensos y profundos, pero otras veces discontinuos, con singulares condiciones de alimentación, movimiento y descarga
4. Sedimentos autóctonos de cobertura generalmente muy permeables, de variable potencia y, en ocasiones, inexistentes, aflorando la roca desnuda
5. Desarrollo subterráneo de una amplia red de canales y conductos intercomunicados, con longitudes desde pocos centímetros hasta centenares de kilómetros

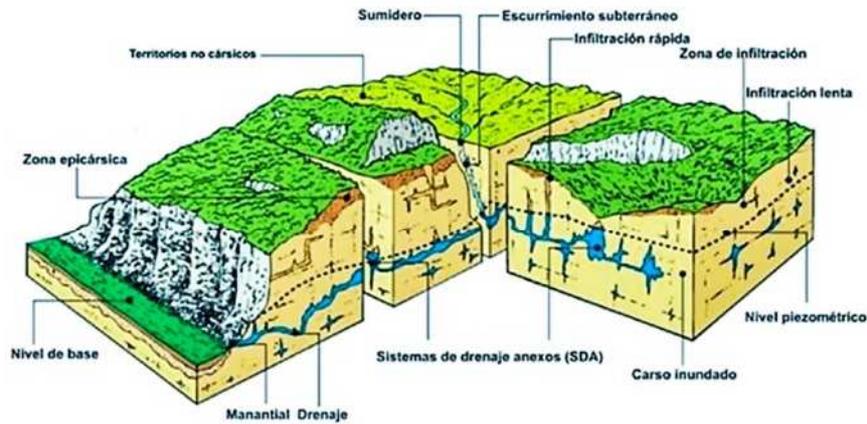


Fig. 2. Estructura típica de un macizo cársico (según Mangin, 1982. Cortesía de H, Farfán)



Fig.3. Polje de Livno (Livanjsko) al oese de Bosnia y Herzegovina, la mayor depresión cársica de los Alpes Dináricos en la zona del Karst Clásico, seco en la imagen superior e inundado en la inferior, comportamiento típico de los poljes (<https://rsis.ramsar.org/ris/1786>; Foto archivo del autor)

**Tabla 1. Procesos de carsificación y espeleogénesis (Molerio, 2006)**

TIPO	ZONA HIDRODINÁMICA	TIPO DE ACUÍFERO	CONTROLES HIDRÁULICOS	SISTEMAS FÍSICO-QUÍMICOS	CONTROLES FÍSICO-QUÍMICOS	PROCESOS DOMINANTES EN EL CONTROL DE LA TASA DE DISOLUCIÓN
<b>Singenéticos</b>	No saturada o vadosa	Libre	Intercambio con procesos subaéreos (efecto de mezcla)	H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> -CaCO <sub>3</sub>	Cinéticos	Mezcla de aguas (fundamentalmente efecto salino y de insaturación por mezcla agua dulce/agua salada)
<b>Epigenéticos</b>	Epikarst  Zona No saturada o vadosa  Zona Saturada o Freática	Libre	Intercambio con procesos subaéreos (agua en movimiento y mezcla de aguas). La capacidad de disolución se atenúa en la dirección del flujo.	H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> -CaCO <sub>3</sub>	Cinéticos	Efectos combinados de agua en movimiento y mezcla de aguas.
				H <sub>2</sub> S-H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Balace de masas	Efecto de mezcla
				Sistemas mixtos: H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> -CaCO <sub>3</sub> y H <sub>2</sub> S-H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Controles mixtos: cinético y balance de masas	Efectos combinados de agua en movimiento y mezcla de aguas
<b>Hipogenéticos</b>	Circulación profunda	Confinado, semi-confinado o semilibre	Sin intercambio con procesos subaéreos. La capacidad de disolución es independiente del flujo	H <sub>2</sub> S-H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Balace de masas	Irrupciones de agresividad limitadas en tiempo y espacio: Efecto de mezcla Oxidación del H <sub>2</sub> S Enfriamiento de aguas termales ascendentes Metamorfismo Reducción de sulfatos Maduración de hidrocarburos Dedolomitización

No sólo como fuente de conocimiento primario, sino por la necesidad de actuar en beneficio de las economías nacionales es que se impone disponer de un claro concepto del karst y de los procesos que en él tienen lugar. Numerosos países en vías de desarrollo poseen vastas extensiones de sus territorios ocupadas por rocas carsificadas, de manera que el karst tiene un cierto peso en la conformación de sus economías y, por ende, debe ser evaluado con rigor y seguridad suficientes como para permitir realizar pronósticos certeros de su utilización.

Como quiera que un objetivo de esta naturaleza queda fuera del alcance de los métodos de análisis cualitativo tradicionalmente empleados en la interpretación del karst y también de muchos métodos analíticos que, como consecuencia de un planteamiento inadecuado del problema ofrecen sólo soluciones parciales o incompletas, es obvio que resulta imprescindible la búsqueda de recursos físicos -y por supuesto, matemáticos- que permitan avanzar, multidisciplinariamente, en la descripción y simulación del sistema.

Las seis últimas décadas han sido testigos de una eclosión de métodos muy rigurosos de estudio del karst que interesan varias disciplinas. Ello ha permitido lograr aproximaciones cada vez más precisas al conocimiento de la estructura y el comportamiento del medio cársico. Por este motivo, fenómenos que parecían de difícil explicación o atribuidos a un místico comportamiento aleatorio del sistema resultan ahora propiedades intrínsecas o de tendencia del sistema.

La heterogeneidad manifiesta, la discontinuidad del intrincado sistema de colectores-conductores, y la pronunciada anisotropía tridimensional progresiva con que se estructura su campo de propiedades físicas son, sin dudas, sus rasgos más sobresalientes, pero a veces, el haber sobreestimado estos rasgos ha impedido, en buena medida alcanzar una visión de conjunto del problema.

## **EL MODELO TERMODINÁMICO**

Como señalábamos hace casi 40 años (Molerio, 1985) el karst se produce como consecuencia de complejos procesos de intercambio de materia y energía entre el interior y el exterior de las rocas carsificables, fundamentalmente carbonatadas. Se trata de un sistema abierto en el que, en magnitud variable, se desarrollan mecanismos termodinámicos como transporte de masas y de difusión-dispersión e hidrodinámicos, al actuar las aguas superficiales y subterráneas como agentes de transferencia.

Inspiradora la visión de Scheidegger (1983, 1991) que, en fechas tan tempranas como el período 1960-1970, invitaban a un cambio de paradigma: *“Las formas cársicas pueden explicarse fácilmente en términos del Principio de Inestabilidad de las formas geomorfológicas: luego de la captura aleatoria del escurrimiento...se forman los canales accidentales, que se refuerzan a sí mismos en la dinámica del flujo debido a un mecanismo positivo de retroalimentación”*. Kiraly (1975, 1978) volvería sobre este crucial aspecto.

Resultado de la interacción de procesos físicos y químicos sobre las rocas carbonatadas, viene definido por las siguientes propiedades físicas:

- Se trata de un sistema termodinámico abierto, es decir, en interacción con el medio exterior;
- Las variables del campo de propiedades físicas exhiben anisotropía tridimensional progresiva;
- El espacio que constituye el medio acuífero se presenta rigurosamente jerarquizado (Tabla 2);
- Cada espacio presenta un dominio de flujo particular y entre ellos se manifiesta un activo intercambio de masa y energía (Tabla 3);
- Consecuentemente, el campo de propiedades físicas se define y estructura para cada espacio;
- Se manifiesta una fuerte influencia del factor de escala sobre el campo de propiedades físicas (Fig. 4);
- En el sistema, el trabajo se manifiesta mediante la formación y desarrollo de estructuras autorreguladas de disipación de energía que, mediante retroalimentación, afectan el proceso;

- Un momento de inercia, función del estado inicial del sistema, que modula jerárquicamente las respuestas a los estímulos inducidos natural o artificialmente;
- La elevada dependencia del tiempo de las propiedades que caracterizan el campo de propiedades físicas;
- La irreversibilidad del proceso de carsificación y su evolución unidireccional.

**Tabla 2. Espacios constitutivos del sistema cársico (según Molerio, 1985a)**

CATEGORÍAS			DENOMINACIÓN DEL ESPACIO	VOLUMEN CON RELACIÓN AL SISTEMA	LONGITUD CARAC-TERÍSTICA	RÉGIMEN DE FLUJO	DIÁMETRO	
E S P A C I O  E S P R I E T A D O  C A R S I C O	E S P A C I O  A G R I C I O D O	M A C R O D I S C O N T I N U I D A D E S	1. Cavernas	$V \leq 1\%$	km.	No lineal de alta velocidad	m	
			2. Grietas y discontinuidades en general (macrofracturas):	$1\% \leq V \leq 5\%$	km.	No lineal de alta velocidad	mm - m	
			- Fallas		km.	Lineal	m	
			- Diaclasas.		km.	Lineal	mm-cm	
			- Planos de estratificación.		km.	Lineal	cm	
	- Planos de esquistosidad.	cm	Lineal		mm			
	E S P A C I O  C A R S I C O	E S P A C I O  A R S I C O	M I C R O D I S C O N T I N U I D A D E S	3. Poros de la matriz rocosa (microfracturas):	$5\% < V \leq 40\%$	mm	No lineal de baja velocidad (microflujo)	$\leq 0,1$ mm
				- Exfoliación		mm		0,1 mm
				- Esquistosidad		mm		10 $\mu$
				- Clivaje		mm		0,1 $\mu$
4. Matriz sólida				$V > 40\%$		No lineal de baja velocidad (no flujo)	< 1 mm	

De este modo, el karst se caracteriza por constituir un sistema en el que interactúan diferentes espacios. Circunscribiéndonos a la fase líquida, esta interacción representa un intercambio de materia y energía entre los diferentes espacios constitutivos del sistema y entre estos y el medio exterior.

**Tabla 3. Controles hidráulicos y físico-químicos de la carsificación**

<b>TIPO DE CARSIFICACIÓN CAVERNAMIENTO</b>	<b>ZONA HIDRODINÁMICA</b>	<b>TIPO DE ACUÍFERO</b>	<b>CONTROLES HIDRÁULICOS</b>	<b>SISTEMAS FÍSICO-QUÍMICOS</b>	<b>CONTROLES FÍSICO-QUÍMICOS</b>	<b>PROCESOS DOMINANTES EN EL CONTROL DE LA DISOLUCIÓN</b>
<b>Singenéticos</b>	No saturada o vadosa	Libre	Intercambio con procesos subaéreos (efecto de mezcla)	H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> -CaCO <sub>3</sub>	Cinéticos	Mezcla de aguas (fundamentalmente efecto salino y de insaturación por mezcla agua dulce/agua salada)
<b>Epigenéticos</b>	Epikarst	Libre	Intercambio con procesos subaéreos (agua en movimiento y mezcla de aguas). La capacidad de disolución se atenúa en la dirección del flujo.	H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> -CaCO <sub>3</sub>	Cinéticos	Efectos combinados de agua en movimiento y mezcla de aguas.
	Zona No saturada o vadosa			H <sub>2</sub> S-H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Balace de masas	Efecto de mezcla
	Zona Saturada o Freática			Sistemas mixtos: H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> -CaCO <sub>3</sub> y H <sub>2</sub> S-H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Controles mixtos: cinético y balance de masas	Efectos combinados de agua en movimiento y mezcla de aguas
<b>Hipogenéticos</b>	Circulación profunda	Confinado, semi-confinado o semilibre	Sin intercambio con procesos subaéreos. La capacidad de disolución es independiente del flujo	H <sub>2</sub> S-H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Balace de masas	Irrupciones de agresividad limitadas en tiempo y espacio: Efecto de mezcla Oxidación del H <sub>2</sub> S Enfriamiento de aguas termales ascendentes Metamorfismo Reducción de sulfatos Maduración de hidrocarburos Dedolomitización

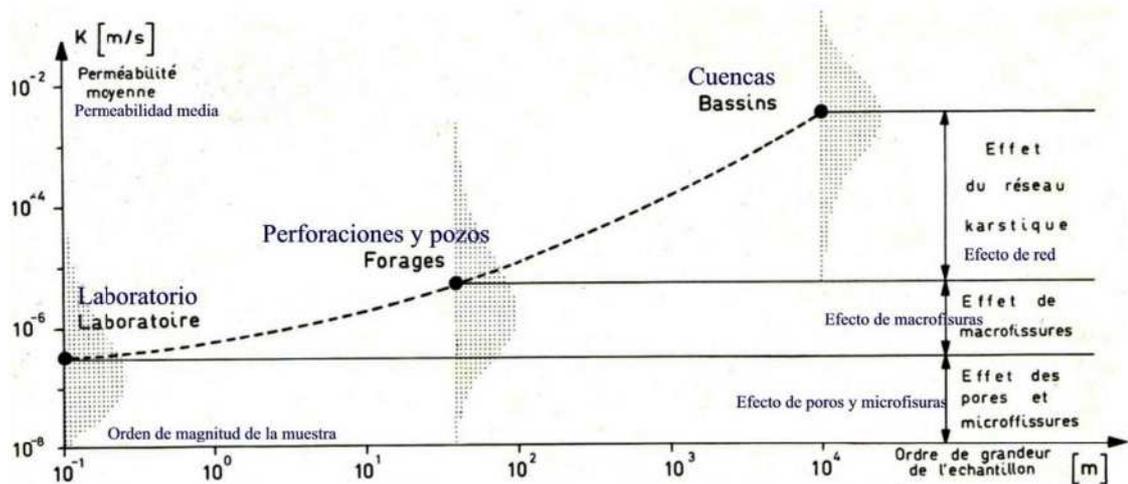


Fig. 4. Curva de efecto de Factor de Escala sobre el campo de propiedades físicas de los acuíferos cársicos (Király, 1975, 1978; Molerio, 1984)

## DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ALGORITMO

La simulación de los procesos que ocurren en la Naturaleza es una tarea extremadamente compleja debido, entre otras, a las siguientes causas:

- El elevado número de variables involucradas;
- La naturaleza estocástica de muchas de estas variables y de los procesos que en ella intervienen;
- La presencia de procesos no lineales;
- La ausencia de ecuaciones que describan algunos de los mecanismos que intervienen en el proceso general
- La ausencia o formulación incompleta de un modelo conceptual susceptible de ser tratado física y matemáticamente.

En correspondencia con los puntos de vista de los investigadores que se han ocupado del karst, éste ha sido definido desde los más disímiles puntos de vista.

Ha primado, sin embargo, una ausencia casi absoluta de definiciones rigurosas que conduzcan a la estructuración de un modelo matemático de su desarrollo, si bien no es menos cierto que, en los últimos años, se han elaborado importantes contribuciones destinadas a lograr simular y predecir el comportamiento de algunos procesos que tienen lugar en el sistema (Curl, 1971; Eraso, 1975, 1982; Ewers, 1976, 1978, 1982; White, 1976; Palmer 1981, 1988, 1991, 1995, 1998; Dreybrodt 1987, 1988, 1989, 1990, 1992, 1993, 1995, 1996, 1998; Dreybrodt y Buhmann, 1991; Dreybrodt y Siemers, 1997; Dreybrodt, Gabrovsek y Romanov, 2005; Dreybrodt y Svensson, 1989; Ford, 1971, 1988; Ford y Ewers, 1978; Gabrovsek y Dreybrodt, 2001; Howard y Groves, 1995; Klimchouk, 2003, 2005; Kovacs, 2003; Molerio 1982a, 1985a, 1985b, 1985c, 1986a, 1986b, 1988, 1989a, 1989b, 1989c, 1990, 1992a, 1992b, 1995, 1996, 2003a, 2003b, 2004, 2007, 2013a, 2013b, 2013c; Molerio Guerra y Flores 1984, Molerio et al. 1997; Molerio 2000; Mylroie y Carew, 1986; Palmer, 1975, 1987, 1988, 1989, 1991, 2000, 2007; Palmer, Palmer y Sasowsky, 1999; Reinmann, 2012; Stephansson, Hudson y Lanaru, 2004; Szymczak y Ladd, 2006, 2009; 20011a, 2011b, 2012; Werner, 2004; White, 2002).

El modelo conceptual del karst que sirvió de base para todo ello (Molerio, 1985a) consistió en tratar el karst como un sistema termodinámico abierto con producción creciente de entropía sometido a acciones aleatorias.

Por lo común, los modelos conceptuales del karst se reducen a distinguir sus propiedades morfológicas o hidrológicas independientemente. En algunos casos, suelen reunirse ambas, mientras que en otros, se insiste, para la conformación del modelo, en ciertas peculiaridades de la

evolución de estos macizos o se les compara con las características de otros medios geológicos. Resulta frecuente, sin embargo, que la mayor parte de los rasgos que se toman como característicos del karst no resulten de aplicación universal. En ciertas ocasiones no pueden, siquiera, ser generalizados dentro de una misma zona climática o estructuro-facial, lo que impide descubrir las leyes más generales que rigen el desarrollo del karst.

Para caracterizar las leyes que rigen el funcionamiento del sistema, los procesos de transporte, y las condiciones iniciales y de contorno, es necesario que -en su conjunto- el sistema pueda describirse por un grupo de ecuaciones que satisfaga las propiedades de los modelos conceptuales y permita resolver tres problemas cardinales de la evolución del karst:

- La químico-física de los procesos de disolución y sedimentación que ocurren en el sistema;
- El desarrollo tridimensional de las formas superficiales y subterráneas del relieve
- La organización y evolución de la compleja red de drenaje de los macizos cársicos, tanto la que discurre en superficie, como la que circula subterráneamente.

En nuestro modelo, los espacios que integran el universo cársico son tratados como medios continuos (Molerio, 1982, 1985a.; March y Molerio, 1987). La validez de esta aproximación depende de poder demostrar la continuidad estadística del campo de propiedades físicas entre espacios jerarquizados por su longitud característica definiéndose, en el mundo real, una longitud, volumen o área elemental representativa. Ella debe tomar en cuenta la distorsión que producen el efecto de escala y la dependencia del tiempo de las variables que estructuran el campo de propiedades físicas.

Los procesos de transporte de masa, momento y energía entre medios continuos equivalentes fueron resueltos para cada uno de los espacios involucrados, en términos de la derivación de un conjunto de ecuaciones que describieran las correspondientes funciones de transporte (March y Molerio, 1987). Del mismo modo, el trabajo que tiene lugar en el sistema, y que conduce a la formación de estructuras autorreguladas de disipación de energía, fue examinado a partir de la derivación de un conjunto de ecuaciones que describen la función disipativa de los espacios.

La interacción entre las fuerzas y flujos no puede tratarse, en rigor, si no es a partir de la TNE. En esto radicaba otro problema, ya que la base física de la termodinámica de no equilibrio, las Relaciones Recíprocas de Onsager (ORR) no están rigurosamente descritas para el macromovimiento.

Sin embargo, en primera aproximación, cada forma del relieve posee un valor de la función de disipación de energía controlada, inicialmente, por la tasa volumétrica de producción de entropía. Del mismo modo, cada espacio que integra el sistema debe estar caracterizado por un entorno característico de valores para tal función. Debe suceder, entonces, que la función sea continua en tiempo y espacio, por cuanto cada nueva forma contiene, en el sistema, mayor entropía que la precedente (Carnahan, 1976; March y Molerio, 1987; Molerio, 1988). De aquí se avanza a la caracterización del sistema combinando las ecuaciones de balance de masas, momento y energía con la ecuación de Gibbs para lograr una formulación adecuada que exprese el balance de entropía, En todo caso, se supone la simetría del campo tensorial de los coeficientes fenomenológicos involucrados.

Así, se obtuvo una ecuación general para definir el cambio de entropía en el sistema en función de la diferencia de potenciales y la afinidad química de las reacciones fundamentales.

Las fuerzas y flujos considerados en el balance termo hidrodinámico básico son:

- Transporte de calor (ley de Fourier);
- Flujo volumétrico (ley de Darcy);
- Transporte dispersivo-difusivo (ley de Fick);
- Conductividad eléctrica (ley de Ohm)
- La afinidad química de las reacciones, enlazadas por las funciones de transferencia y disipación de energía mediante coupling termodinámico múltiple.

Los resultados obtenidos en la simulación de sistemas reales fueron altamente promisorios. Sin embargo, las desviaciones respecto al modelo natural se derivaban de numerosas fuentes de incertidumbre cuya discriminación resultó una tarea ardua.

La más importante de estas se reducía a distinguir las condiciones que provocasen que un sistema inicialmente cerrado o aislado, reversible, sin coacciones exteriores, se transformase en un sistema termodinámico abierto, que estuviese caracterizado por las propiedades definidas en el modelo conceptual del karst. En este sentido, se orientó la investigación hacia la caracterización de acciones aleatorias exteriores, o producidas por el sistema, en términos de la adaptabilidad de este para filtrar tales estímulos, definir su efecto en el caso de provocar fluctuaciones termodinámicas, diferenciar la estacionalidad de las señales aleatorias y tratar de resolver la respuesta del sistema en la dirección de los niveles crecientes de entropía. Uno de los aspectos básicos involucrados en el cambio de tipo termodinámico del sistema lo constituyen los mecanismos de triggering cinético.

Cualquier estado macroscópico es función del estado microscópico en virtud de la reversibilidad de las ecuaciones del micromovimiento. Un sistema puede pasar espontáneamente de uno a otro estado microscópico y viceversa, sin requerir de estímulos externos. Lo mismo puede decirse en cuanto a los estados macroscópicos; sin embargo, la irreversibilidad del micromovimiento define que, sin coacciones exteriores, el paso espontáneo es solamente unidireccional. Esta paradoja se resuelve, por lo común, considerando que las ecuaciones macroscópicas del movimiento irreversible para cualquier sistema aislado deben ser válidas solo a partir de un instante inicial antes del cual el sistema se encontraba aislado. De lo contrario, tratándose de un sistema permanentemente aislado, el proceso irreversible puede ocurrir solamente como resultado de una fluctuación espontánea (Terlietsky, 1975).

La cuestión más importante en este sentido, es que el crecimiento de la entropía del sistema ocurre solamente a partir de ese instante inicial. Así, para un sistema aislado, las ecuaciones macroscópicas son tales, que para un intervalo infinito de tiempo, todo es reversible, ya que la entropía primero decrece y después crece. Para un sistema que no está aislado siempre, el instante inicial se destaca físicamente y, a partir de él, las ecuaciones macroscópicas solo pueden dar lugar al crecimiento de la entropía, lo que no contradice la irreversibilidad microscópica (Terlietsky, 1975).

Se requiere definir un conjunto de mecanismos que produzcan un efecto de alteración del estado cuasi estacionario de equilibrio del sistema. Resulta lógico suponer que el desarrollo privilegiado de algunos conductos en detrimento de otros se deba a una combinación entre la cinética del proceso de disolución y el régimen de flujo en el sistema.

Los resultados obtenidos por diferentes autores son contradictorios (Curl, 1960, 1964, 1965; Ewers, 1976; Howard, 1964a, 1964b; Howard y Howard, 1967; Thrailkill, 1968). Sin embargo, los trabajos de Berner y Morse (Morse y Berner, 1972; Berner y Morse, 1974) contribuyeron significativamente a replantear el problema desde el punto de vista de la cinética del proceso de disolución, toda vez que parece claro que la aparición de régimen no lineal de alta velocidad no es, necesariamente, el único mecanismo de triggering, aun cuando la turbulencia contribuya, significativamente, al incremento en la disolución.

En tanto indican dos regímenes de disolución: uno fuertemente insaturado y otro próximo a la saturación de calcita, los trabajos de Berner y Morse sugieren un efecto de triggering a tomar en cuenta. White (1976) convirtió las tasas de disolución en tiempos de tránsito bajo ciertas condiciones iniciales de porosidad, gradiente hidráulico y suministro de dióxido de carbono, y sus resultados fueron compatibles con los de Ewers (1976). Con tal esquema, además, resulta válida la aproximación de la ley cúbica de distribución de velocidad en capilares. La distancia crítica de recorrido varía con la tercera potencia del diámetro del conducto.

Asumiendo válidos tales mecanismos, y tomando en cuenta la naturaleza de las reacciones y el control por difusión-dispersión, el problema se reduce a determinar los coeficientes de difusión y de dispersión. Estos últimos, especialmente importantes por cuanto la variación en el régimen de flujo, que de hecho aparece con el incremento del diámetro efectivo, da lugar a que en el nivel fenomenológico macroscópico las propiedades de ambos coeficientes son diferentes (Carnahan, 1976).

En particular, estos términos no están considerados por White (1976), lo que puede contribuir a explicar las desviaciones encontradas por este autor al simular estructuras planares.

La dispersividad del medio es un tensor de cuarto orden, en tanto el coeficiente de dispersión es un tensor de segundo orden. Transformando el coeficiente de dispersión en un coeficiente fenomenológico empleando las mismas ecuaciones de White (1976), pero en términos de velocidad del soluto, se tiene que, empleando las ecuaciones 27-36 de Carnahan (1976), la velocidad de flujo desaparece en sistemas cerrados, pero la tasa de dispersión de soluto queda influenciada por la matriz porosa (o el conducto), en el campo de velocidad de flujo cero. Puede lograrse una combinación de los términos de transporte y fenomenológico para relacionar las propiedades del soluto mediante la dependencia del potencial químico respecto a la concentración.

La aplicación de los principios de control automático en sistemas no lineales sometidos a acciones aleatorias se integra al modelo en la medida en que puedan definirse (Netushil, 1987) los parámetros de los procesos aleatorios (funciones de distribución y correlación y densidad espectral -transformada de Fourier de la función de correlación-), y la dependencia, respecto al tiempo, de la variable aleatoria.

El tratamiento de la fluctuación termodinámica provocado por la coincidencia entre la aparición del coeficiente fenomenológico de dispersión, el flujo no lineal de alta velocidad, y el incremento de la tasa de disolución, parecen susceptibles de ser tratados como impulsos únicos de duración  $t_0$  en el instante aleatorio, de manera que satisfaga las condiciones en que el instante inicial sea mucho menor que el tiempo total ( $t_0 \ll t$ ) y que la probabilidad de los extremos de la funcional sea de magnitud despreciable ( $t_0/2t$ ) cuando el tiempo total tiende a infinito.

### **Mecanismos de triggering y cinética química**

En nuestro modelo, los espacios que integran el universo cársico son tratados como medios continuos. La validez de esta aproximación depende de poder demostrar la continuidad estadística del campo de propiedades físicas entre espacios jerarquizados por su longitud característica definiéndose, en el mundo real, una longitud, volumen o área elemental representativa. Ella debe tomar en cuenta la distorsión que producen el efecto de escala y la dependencia del tiempo de las variables que estructuran el campo de propiedades físicas.

Los procesos de transporte de masa, momento y energía entre medios continuos equivalentes fueron resueltos para cada uno de los espacios involucrados, en términos de la derivación de un conjunto de ecuaciones que describieran las correspondientes funciones de transporte. Del mismo modo, el trabajo que tiene lugar en el sistema, y que conduce a la formación de estructuras autorreguladas de disipación de energía, fue examinado a partir de la derivación de un conjunto de ecuaciones que describen la función disipativa de los espacios.

La interacción entre las fuerzas y flujos no puede tratarse, en rigor, si no es a partir de la TNE. En esto radicaba otro problema, ya que la base física de la termodinámica de no equilibrio, las Relaciones Recíprocas de Onsager (ORR) no están rigurosamente descritas para el macromovimiento.

### **Cambios en el tipo de sistema termodinámico. Fluctuaciones y triggering**

Cualquier estado macroscópico es función del estado microscópico en virtud de la reversibilidad de las ecuaciones del micromovimiento. Un sistema puede pasar espontáneamente de uno a otro estado microscópico y viceversa, sin requerir de estímulos externos. Lo mismo puede decirse en cuanto a los estados macroscópicos; sin embargo, la irreversibilidad del micromovimiento define que, sin coacciones exteriores, el paso espontáneo es solamente unidireccional. Esta paradoja se resuelve, por lo común, considerando que las ecuaciones macroscópicas del movimiento irreversible para cualquier sistema aislado deben ser válidas solo a partir de un instante inicial antes del cual el sistema se encontraba aislado. De lo contrario, tratándose de un sistema permanentemente aislado, el proceso irreversible puede ocurrir solamente como resultado de una fluctuación espontánea (Terlietsky, 1975).

La cuestión más importante en este sentido, es que el crecimiento de la entropía del sistema ocurre solamente a partir de ese instante inicial. Así, para un sistema aislado, las ecuaciones macroscópicas son tales, que para un intervalo infinito de tiempo, todo es reversible, ya que la entropía primero decrece y después crece. Para un sistema que no está aislado siempre, el instante inicial se destaca físicamente y, a partir de él, las ecuaciones macroscópicas solo pueden dar lugar al crecimiento de la entropía, lo que no contradice la irreversibilidad microscópica (Terlietsky, 1975).

Asumiendo validos tales mecanismos, y tomando en cuenta la naturaleza de las reacciones y el control por difusión-dispersión, el problema se reduce a determinar los coeficientes de difusión y de dispersión. Estos últimos, especialmente importantes por cuanto la variación en el régimen de flujo, que de hecho aparece con el incremento del diámetro efectivo, da lugar a que en el nivel fenomenológico macroscópico las propiedades de ambos coeficientes son diferentes (Carnahan, 1976).

En particular, estos términos no están considerados en White (1976), lo que puede contribuir a explicar las desviaciones encontradas por este autor al simular estructuras planares. La dispersividad del medio es un tensor de cuarto orden, en tanto el coeficiente de dispersión es un tensor de segundo orden. Transformando el coeficiente de dispersión en un coeficiente fenomenológico empleando sus mismas ecuaciones, pero en términos de velocidad del soluto, se tiene que, empleando las ecuaciones 27-36 de Carnahan (1976), la velocidad de flujo desaparece en sistemas cerrados, pero la tasa de dispersión de soluto queda influenciada por la matriz porosa (o el conducto), en el campo de velocidad de flujo cero. Puede lograrse una combinación de los términos de transporte y fenomenológico para relacionar las propiedades del soluto mediante la dependencia del potencial químico respecto a la concentración.

La aplicación de los principios de control automático en sistemas no lineales sometidos a acciones aleatorias se integra al modelo en la medida en que puedan definirse los parámetros de los procesos aleatorios (funciones de distribución y correlación y densidad espectral -transformada de Fourier de la función de correlación (Netushil, 1987) y la dependencia, respecto al tiempo, de la variable aleatoria. El tratamiento de la fluctuación termodinámica provocado por la coincidencia entre la aparición del coeficiente fenomenológico de dispersión, el flujo no lineal de alta velocidad, y el incremento de la tasa de disolución, parecen susceptibles de ser tratados como impulsos únicos de duración  $t_0$  en el instante aleatorio, de manera que satisfaga las condiciones en que el instante inicial sea mucho menor que el tiempo total ( $t_0 \ll t$ ) y que la probabilidad de los extremos de la funcional sea de magnitud despreciable ( $t_0/2t$ ) cuando el tiempo total tiende a infinito.

La introducción, en el modelo analítico, de un mecanismo de triggering del tipo descrito por Berner y Morse en los trabajos ya citados y desarrollado por White (1976) simplifica el tratamiento al descontar los efectos de retardo físico y químico. Reducir el problema a demostrar la validez de emplear solo una ecuación de continuidad para el transporte de masa trae, como consecuencia, que es necesario, entonces, transformar la dispersión de coeficiente de transporte a coeficiente fenomenológico descrito por Carnahan (1976).

Queda por estudiar un conjunto de aspectos teóricos importantes. Uno de ellos concierne a la extensión del teorema de Curie, que prescribe el coupling termodinámico entre las reacciones químicas y los fenómenos vectoriales en los medios anisotrópicos. Otro de ellos corresponde a la definición de los límites entre la difusión y la dispersión, en particular, respecto al desarrollo de la difusión residual a velocidades muy bajas o nulas. El tercero, finalmente, se deriva de la propia naturaleza de la TNE y se vincula con la imposibilidad de medir directamente, en el terreno, los coeficientes fenomenológicos para fenómenos de coupling termodinámico a niveles macroscópicos. El *coupling* termodinámico, para la definición de la función de disipación de energía, se planteó a partir de las relaciones clásicas de Onsager que relacionan fuerzas y flujos entre las componentes de calor y fluido, difusión y afinidad química. La estructura del campo de propiedades físicas de los acuíferos en rocas agrietadas y, en particular, los cársicos, está afectada por la homogeneidad, heterogeneidad y anisotropía; la dependencia del tiempo y el efecto de escala que fueron especialmente considerados en el modelo.

El algoritmo general ha sido desarrollado a partir de los principios de la termodinámica de no equilibrio, que se considera esencial para determinar la dirección de los procesos de cavernamiento. El algoritmo se basa en un conjunto de ecuaciones de control que describen la continuidad macroscópica del campo de propiedades físicas, los mecanismos de triggering en el sistema físico-químico, la competencia entre diferentes líneas de flujo y la dirección de la evolución en tiempo y espacio, de los procesos de desarrollo del cavernamiento.

En este modelo, los espacios que integran el universo cársico son tratados como medios continuos. La validez de esta aproximación depende de poder demostrar la continuidad estadística del campo de propiedades físicas entre espacios jerarquizados por su longitud característica definiéndose, en el mundo real, una longitud, volumen o área elemental representativa. Ella debe tomar en cuenta la distorsión que producen el efecto de escala y la dependencia del tiempo de las variables que estructuran el campo de propiedades físicas.

Los procesos de transporte de masa, momento y energía entre medios continuos equivalentes fueron resueltos para cada uno de los espacios involucrados, en términos de la derivación de un conjunto de ecuaciones que describieran las correspondientes funciones de transporte. Del mismo modo, el trabajo que tiene lugar en el sistema, y que conduce a la formación de estructuras autorreguladas de disipación de energía, fue examinado a partir de la derivación de un conjunto de ecuaciones que describen la función de disipación de los espacios.

Se obtuvo una ecuación general para definir el cambio de entropía en el sistema en función de la diferencia de potenciales y la afinidad química de las reacciones fundamentales. Las fuerzas y flujos considerados en el balance termo hidrodinámico básico ya fueron mencionadas y se enlazan por las funciones de transferencia y disipación de energía mediante *coupling* termodinámico múltiple.

Los resultados obtenidos en la simulación de sistemas reales fueron altamente promisorios. Sin embargo, las desviaciones respecto al modelo natural se derivaban de numerosas fuentes de incertidumbre cuya discriminación resultó una tarea ardua. La más importante de estas se reducía a distinguir las condiciones que provocasen que un sistema inicialmente cerrado o aislado, reversible, sin coacciones exteriores, se transformase en un sistema termodinámico abierto, que estuviese caracterizado por las propiedades definidas en el modelo conceptual del carso.

En este sentido, se orientó la investigación hacia la caracterización de acciones aleatorias exteriores, o producidas por el sistema, en términos de la adaptabilidad de éste para filtrar tales estímulos, definir su efecto en el caso de provocar fluctuaciones termodinámicas, diferenciar la estacionalidad de las señales aleatorias y tratar de resolver la respuesta del sistema en la dirección de los niveles crecientes de entropía. Uno de los aspectos básicos involucrados en el cambio de tipo termodinámico del sistema lo constituyen los mecanismos de triggering cinético.

La cuestión más importante en este sentido es que el crecimiento de la entropía del sistema ocurre solamente a partir de ese instante inicial. Así, para un sistema aislado, las ecuaciones macroscópicas son tales, que para un intervalo infinito de tiempo, todo es reversible, ya que la entropía primero decrece y después crece. Para un sistema que no está aislado siempre, el instante inicial se destaca físicamente y, a partir de él, las ecuaciones macroscópicas sólo pueden dar lugar al crecimiento de la entropía, lo que no contradice la irreversibilidad microscópica.

En tanto, se indican dos regímenes de disolución: uno fuertemente insaturado y otro próximo a la saturación de calcita. Las tasas de disolución transformadas en tiempos de tránsito controlados bajo ciertas condiciones iniciales de porosidad, gradiente hidráulico y suministro de dióxido de carbono permiten validar la aproximación de la ley cúbica de distribución de velocidad en capilares. La distancia crítica de recorrido varía con la tercera potencia del diámetro del conducto.

Asumiendo válidos tales mecanismos, y tomando en cuenta la naturaleza de las reacciones y el control por difusión-dispersión, el problema se reduce a determinar los coeficientes de difusión y de dispersión. El tratamiento de la fluctuación termodinámica provocado por la coincidencia entre la aparición del coeficiente fenomenológico de dispersión, el flujo no lineal de alta velocidad, y el incremento de la tasa de disolución, parecen susceptibles de ser tratados como impulsos únicos de duración  $t_0$  en el instante aleatorio, de manera que satisfaga las condiciones en que el instante inicial

sea mucho menor que el tiempo total ( $t_0 \ll t$ ) y que la probabilidad de los extremales de la funcional sea de magnitud despreciable ( $t_0/2t$ ) cuando el tiempo total tiende a infinito.

## **APLICACIÓN A LA ESPELEOGÉNESIS**

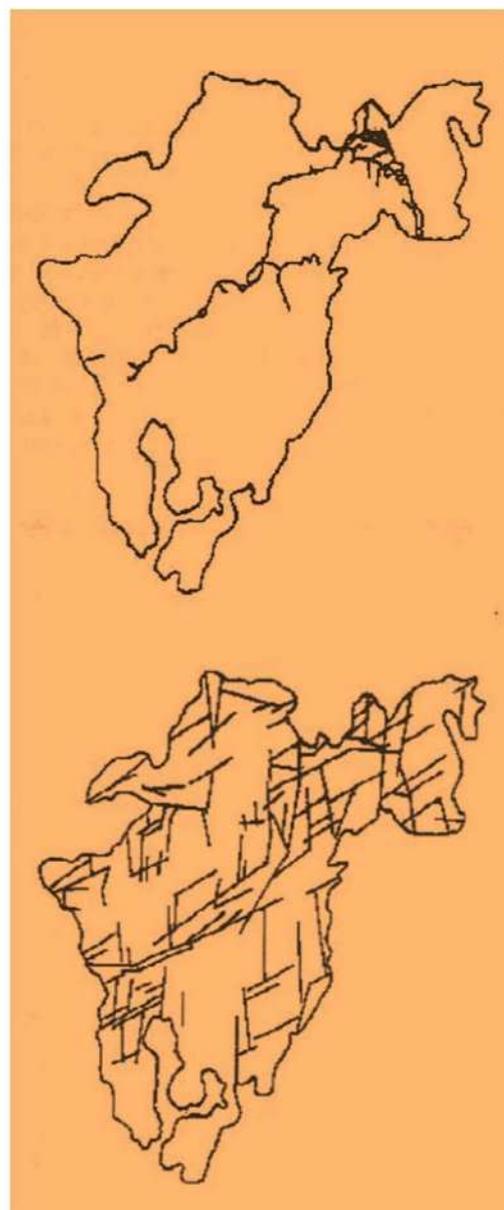
En el modelo conceptual aquí explicado desecha la clásica visión antropocéntrica del concepto de cueva, que lo reduce a aquella forma penetrable/accesible por el hombre y se considera la dimensión fractal de las cuevas en términos de las propiedades fundamentales de invariancia respecto a la escala y de auto semejanza. Ello extiende el concepto de cueva más allá del objeto alcanzando al espacio de cavernamiento e incluye en la sistemática, por tanto, a las protocuevas o cavidades embrionarias y también a las cavidades mero y holofósiles. El concepto es trascendente desde el punto de vista ingeniero al permitir enlazar en un cuerpo sistemático, los distintos tipos de espacios del universo cársico (Curl, 1960, 1964, 1966, 1986; Molerio, 1985a, 2020, 2021); Molz, Castle y Lu, 2003; Albert, Virág y Eröss, 2015; Monterrubio y Boyer, 2017; Pardo-Igúzquiza et al., 2019)

La circulación del agua que producen la carsificación y el cavernamiento desde las zonas de recarga a las de descarga es un proceso de transporte y transferencia de masa, momento y energía que tiene lugar bajo condiciones de cambio de presión o carga en un medio heterogéneo<sup>1</sup>, de geometría variable debido a la interacción de diferentes espacios (matriz, poros, fracturas y cavernas), con anisotropía tridimensional progresiva, de porosidad-permeabilidad múltiple, a veces en presencia de diferentes fases donde, incluso, la densidad y la viscosidad pueden ser independientes de las coordenadas espaciales.

La circulación se describe mediante la ecuación de transporte advectivo-difusivo, en un esquema fundamentalmente Euleriano, acompañado de reacciones químicas e intercambio térmico bajo determinadas condiciones iniciales y de contorno. El indicador representativo de la facilidad del movimiento de los fluidos es la conductividad hidráulica  $K$  que, aunque tiene las dimensiones de velocidad, en realidad representa el flujo específico que ocurre bajo un gradiente hidráulico (de presión, térmico) unitario (Fig. 5).

**Fig. 5. Modelación matemática del desarrollo de las galerías del Sistema Cavernario Majaguas Cantera. Su. Sistema explorado; Inf. Sistema simulado**

Para estos efectos, las cavernas son fragmentos, truncados [o no, añadimos], de sistemas de drenaje subterráneo. Esta definición es el fundamento del modelo conceptual del



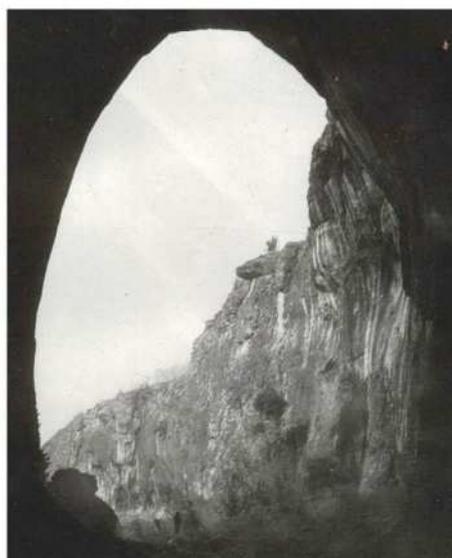
<sup>1</sup> En cualquier punto del acuífero, la anisotropía representa la variación de la conductividad hidráulica con la dirección y se diferencia de la heterogeneidad que se refiere a la variación de un punto a otro. La mayor parte de los acuíferos en rocas fracturadas son anisotrópicos y heterogéneos y a veces es muy difícil distinguir esas propiedades y, en algunos acuíferos cársicos se combinan de tal manera caótica que no es significativo intentar distinguirlos (Palmer, 1999)

desarrollo del karst epigenético y, por ello, el eje de desarrollo de la modelación de la espeleogénesis desarrollada por nosotros en diferentes trabajos. El origen de las cavernas en el karst epigenético está gobernado por un balance de masas tal que la tasa de crecimiento de los conductos, como consecuencia de la remoción de masa de las paredes de la cavidad o el conducto, es igual a la tasa de transporte de masa en solución. Los karsts mixtos (Fig. 6) de tipo epi-hipogenético e hipogenético (*sensu lato*) están gobernados por balance de masas o por procesos mixtos cinéticos y de balance de masas solución (Molerio, 2020).



**Fig. 6. Morfologías hipogenéticas (Foto Vladimir Otero)**

Considerar que las cuevas -como elementos que expresan la evolución de la circulación de las aguas en flujos organizados o no- son espacios en lugar de objetos permite un tratamiento diferenciado e integrado del cavernamiento para incluir todos los vacíos en el universo cársico bajo diferentes medidas de longitud característica, régimen hidrodinámico, controles físico-químicos, invariancia respecto a la escala y auto semejanza. Las cuevas (en términos genéricos) resultan estructuras autoreguladas de disipación de energía absolutamente jerarquizadas y su evolución apunta, como proceso termodinámico de no equilibrio, a la producción creciente de entropía (Figs. 7 y 8).



**Fig. 7. Contraluz de arco estable de la Cueva de Projodna, Karlukovo, Bulgaria, en su salida al nivel de base del río Iskra (Foto de autor)**

La hipótesis de trabajo sobre el desarrollo de los conductos cársicos subterráneos parte de los siguientes presupuestos:

- Las galerías subterráneas son espacios lineales y no planares o areales;
- Las topologías lineales por lo común se desarrollan a lo largo de las intersecciones entre superficies;
- En cuanto al desarrollo de las cavernas estas superficies son de dos tipos: la zona de máxima concentración de solvente y la zona de máxima concentración de flujo;
- La superficie máxima de concentración de solvente (MCS) es generalmente horizontal o subhorizontal y depende de la evolución geoquímica del medio, la fuente de aporte y el tiempo de residencia de las aguas en el macizo;
- Las superficies de máxima concentración de flujo (MCF) suelen estar fuertemente inclinadas y, con menor frecuencia, pueden ser completamente horizontales;
- En la intersección de las superficies MCF y MCS se encuentra no solamente el mayor volumen de fluido sino la más elevada concentración de solvente, de ahí que en ella ocurre la mayor probabilidad de disolución y por ello, de desarrollo de cavernas;
- El trabajo que se realiza en el punto de intersección no da lugar al equilibrio térmico. El intercambio de masa y energía conduce al desarrollo progresivo de un sistema abierto en el cual, la entropía crece a partir de un instante inicial  $t_0$  en que el sistema deja de ser cerrado;
- Las superficies MCF se encuentran en la dirección de la componente de conductividad hidráulica en el sentido de la velocidad. El flujo lateral se encuentra en la dirección de la componente de gradiente hidráulico, de manera que la máxima probabilidad de desarrollo puede determinarse conociendo éstas, lo que significa que el desarrollo de la red de cavernas no es un fenómeno aleatorio y por tanto, puede predecirse;
- Conociendo la orientación de las superficies más favorables para el desarrollo de las redes de conductos es imprescindible entonces, determinar la dirección en que ocurre el proceso de excavación. De acuerdo con el segundo principio de la termodinámica, ello ocurre en la dirección del máximo incremento de la entropía;
- Cada espacio del universo cársico, incluidas las cavernas, se desarrolla según los principios de la termodinámica de los procesos de no equilibrio y a ella corresponden valores de la función de disipación de energía crecientes que se expresan como una sumatoria a partir del centro de gravedad del mismo.



Fig. 8. Formas cársicas derruidas y colapsadas en un karst litoral mixto epi-hipogénético (Foto del autor)

## NOTA FINAL

Pese a la necesidad de caracterizar cuantitativamente el karst en beneficio del entorno y de la sociedad, como parte de ello, los esfuerzos por lograrlo siguen siendo reducidos, a pesar de los avances, de la necesidad y de los recursos físicos, matemáticos y computacionales incluyendo los de Inteligencia Artificial. Es cierto que es uno de los paisajes naturales más complejos por su geo e hidrodinámica pero esa debe ser una razón de más y no de menos.

La aproximación aquí sumariada se inscribe en ese esfuerzo de dilucidar las leyes de funcionamiento de un sistema físico, real, complejo, frágil, inestable que constituye el espacio vital del 20% de las tierras emergidas del planeta, como modo de actuar sobre él de manera sostenible y amigable.

La concepción del sistema bajo el control de los procesos que rigen la termodinámica de no equilibrio ha permitido resolver una serie de problemas prácticos relacionados con la ingeniería geológica y la hidrogeológica con éxito, así como pronosticar las vías de circulación de las aguas subterráneas con seguridad aceptable. Tareas más complejas relacionadas con las fluctuaciones termodinámicas y los “saltos” en la evolución del karst examinados bajo una óptica de expresión de fenómenos de naturaleza no lineal en espacios tridimensional es tropiezan aun con la débil formulación matemática de algunos de ellos pero constituyen una línea adecuada de trabajo para el tratamiento de sistemas complejos. De igual modo sigue siendo un desafío la transferencia de procesos bien descritos en el micromundo a escalas de trabajo mayores. El problema de la generalización de las ecuaciones fenomenológicas se inscribe aquí.

## AGRADECIMIENTOS

En los muchos años dedicados a este esfuerzo de investigación hemos recibido la inestimable cooperación y, sobre todo, enseñanzas, de muchos colegas y amigos. Especialmente importantes aquellos con los que compartimos intensas jornadas de campo para validar las hipótesis de trabajo.

Mi agradecimiento, entonces a Manuel ACEVEDO, Pedro J. ASTRÁIN, William BACK, Andrés DÍAZ ARENAS, Adolfo ERASO, Juan R. FAGUNDO CASTILLO, Lázaro FIALLO, Ernesto FLORES, Erick GARCÍA, Mario GUERRA, Ismael HERRERA REVILLA, Lászlo KIRALY, Alexander KLIMCHOUK, Vladimir OTERO, Jesús PAJÓN, Arthur N. PALMER, Vladimir PANOS, Yavor SHOPOV, Konstantin SPASSOV, Julio J. VALDÉS RAMOS y William B. WHITE. Ana ha sido siempre imprescindible crítica, compañía y aliento.

La Habana, Cuba, Diciembre 20, 2024

## BIBLIOGRAFÍA

- Albert, Gáspár, Magdolna Virág, Anita Eröss (2015): **Karst porosity estimations from archive cave surveys - studies in the Buda Thermal Karst System (Hungary)**. International Journal of Speleology, 44 (2), 151-165.
- Andreu, José Miguel José María Calaforra, Juan Carlos Cañaveras, Soledad Cuezva, Juan José Durán, Policarpo Garay, M<sup>a</sup> Ángeles García, del Cura, Ángel García-Cortés, Fernando Gázquez, Salvador Ordóñez y Sergio Sánchez-Moral (2016): **Karst: un concepto muy diverso**. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 2016 (24.1):6-20
- Berner, R.A. y J.W. Morse (1974): **Dissolution kinetics of calcium carbonate in sea water.IV/ Theory of calcite dissolution**. Amer. Jour. Sci., 274:108-134
- Carnahan, C.L.(1976): **Non-equilibrium thermodynamics of groundwater flow systems: Symmetry properties of phenomenological coefficients and considerations of hydrodynamic dispersion**. Jour.Hydrol 31:125-150
- Curl, R. L. (1960): **Stochastic models of cavern development**. Bull. Natl. Speleol.Soc. 22:66-74
- Curl, R. L. (1964): **On the definition of a cave**. Bull. Natl. Speleol.Soc. 26:1-6

- Curl, R.L. (1965): **Solution kinetics of calcite**. Proc. 4th Internatl. Congr. Speleol., Ljubljana, Vol III:61-66
- Curl R.L. (1986): **Fractal Dimensions and Geometries of Caves**. Mathematical Geology, **18**: 765-783. <https://doi.org/10.1007/BF00899743>
- Cvijic, J. (1893): **Das Kärstphänomen. Versuch einer geographischen Morphologie**. Geogr. Abhandlungen herausgegeben von A. Penck, V, 3, 1893
- Cvijic, J. (1918): **Hydrographie Souterraine et Evolution Morphologique du Karst**. Recueil des Travaux de l'Institute de Géographie Alpine 4 :375–426.
- Dreybrodt, W. (1987): **The kinetics of calcite dissolution and its consequences to karst evolution from the initial to the mature state**. Nat. Speleol. Soc. Bull. vol. 49, 31-49.
- Dreybrodt, W. (1988): **Processes in karst systems**. Physics, Chemistry and Geology. Springer Series in Physical Environments 4, Springer, Berlin-New York.
- Dreybrodt, W. (1989): **Karst development in its initial state: A model of speleogenesis**. Proc. 10th International Congress on Speleology (Budapest, 1989) (ed. by A. Kosa), vol. 1, 174-176.
- Dreybrodt, W. (1990): **The role of dissolution kinetics in the development of Karst aquifers in limestone: a model simulation of Karst evolution**. J. Geol. 98(5): 639-655
- Dreybrodt, W. (1992): **Dynamics of Karstification: A model applied to hydraulics structures in Karst terranes**. Applied Hydrogeol. 1:20-32
- Dreybrodt, W. (1993): **A model of Karstification in the vicinity of hydraulic structures**. Hydrogeological Processes in Karst Terranes (Proceedings of the Antalya Symposium and Field Seminar, October 1990). IAHS Publ. no. 207, 1993. 33A:33-45 IAHS Publ. 207:33-45
- Dreybrodt, W. (1995): **Principles of Karst evolution from initiation to maturity and their relation to physics and chemistry**. Contribution to IGCP 299. Geology, Climate and Hydrology in Karst Formation.
- Dreybrodt, W. (1996): **Principles of early development of karst conduits under natural and man-made conditions revealed by mathematical analysis of numerical models**. Water Resour. Res. 32, 2923–2935.
- Dreybrodt, W. (1998): **Limestone dissolution rates in Karst environments**. Bull. Hydrogeol., Centre Hydrogeol. Univ. Neuchatel, 16:167-183
- Dreybrodt, W., D. Buhmann (1991): **A mass transport model for dissolution and precipitation of calcite from solutions in turbulent motion**. Chemical Geol. 90:107-122
- Dreybrodt, W., F. Gabrovsek, D. Romanov (2005): **Processes of speleogenesis: A modeling approach** (with guest contributions by S. Bauer, S. Birk, R. Liedl, M. Sauter, and G. Kaufmann): Karstlogica, Ljubljana, Slovenia, ZRC Publishing, 376 p + CD.
- Dreybrodt, W. ; J. Siemers (1997): **Early evolution of Karst aquifers in limestone: models on two dimensional percolation clusters**. Proc. 12<sup>th</sup> Internatl. Speleol. Congr., La Chaux-de-Fonds, Suiza, 2:75-80
- Dreybrodt, W., U. Svensson (1989): **The effect of MgCO<sub>3</sub> on the solubility of calcite: enhanced aggressiveness**. Proc. 10th International Congress on Speleology (Budapest, 1989) (ed. by A. Kosa), vol. 1, 177-178.
- Eraso, A. (1975): **Nuevo método en la investigación del karst. Los modelos naturales y la convergencia de formas**. Cuad. Geog. I:121-126
- Eraso, A. (1982): **Consideraciones sobre el problema de la génesis y evolución del Karst**. UIS, Madrid, 28:
- Ewers, R.O. (1976): **A model for the development of broad scale networks of groundwater flow in carbonate aquifers**. in/ Tolston, J. y F. L. Doyle (editors): **Karst Hydrogeology**. Proc. 12 Congr. AIH, Alabama:401
- Ewers, R.O. (1982): **Cavern development in the dimensions of length and depth**. PhD Thesis, McMaster Univ., Ontario, 398:
- Ford, D.C. (1971): **Geologic structure and a new explanation of limestone cavern genesis**. Trans. Cave Res. Gr., G.B., 13 (2): 81-94.

- Ford, D.C. (1988): **Characteristics of dissolutional cave systems in carbonate rocks**. In: James, N.P. and Choquette, P.W. (Eds), *Paleokarst*. New York: Springer-Verlag: 25-57
- Ford, D.C., R. O Ewers (1978): **The development of limestone cave systems in the dimensions of length and depth**. *Canadian Journal of Earth Sciences*, v. 15, p. 1783–1798.
- Ford D.C. y P.W. Williams (2007): **Karst hydrogeology and geomorphology**. John Wiley & Sons Ltd., 562:
- Gabrovsek, F. , W. Dreybrodt (2001) **A model of the early evolution of karst aquifers in limestone in the dimensions of length and depth** *Journal of Hydrology* 240 206–224 F.
- Howard, A.D. (1964a): **Processes of limestone cave development**: *International Journal of Speleology*, v. 1, p. 47–60.
- Howard, A.D. (1964b): **Model for cavern development under artesian ground water flow, with special reference to the Black Hills**: *National Speleological Society Bulletin*, v. 26, no. 1, p. 7–16.
- Howard, A.D. y B.Y. Howard (1967): **Solution of limestone under laminar flow between parallel boundaries**. *Caves and Karst* 9(4):25-38
- Howard, A.D., C.G. Groves (1995): **Early development of Karst systems, 2. Turbulent flow**. *Water Resour. Res.* 31:19-26
- Kiraly, László (1975): **Rapport sur l'état actuel des connaissances dans le domaine des caracteres physiques des roches karstiques**. In/ Burger, A. y L. Dubertret: **Hydrogeology of karsic terranes**. Internatl. Ass. Hydrogeol., Paris:53-67
- Kiraly, László (1978): **La notion d'unité hydrogéologique. Essai de définition**. Thèse. *Bull Centr. Hydrogeokl. Univ. Neuchatel*:82-216
- Klimchouk, A.B. (2003): **Unconfined versus confined speleogenetic settings: variations of solution porosity**. *Journal of Speleogenesis and Evolution of Karst Aquifers* 1 (2), 2003, [www.speleogenesis.info](http://www.speleogenesis.info), 7 p.
- Klimchouk, A. (2005): **Conceptualisation of speleogenesis in multi-storey artesian systems: a model of transverse speleogenesis**. *International Journal of Speleology*, 34 (1-2), 45-64. Bologna (Italy).
- Kovacs, G. (1981): **Seepage hydraulics**. Ak.Kiado, Budapest, 730:
- Kovács, A. (2003): **Geometry and hydraulic parameters of karst aquifers: A hydrodynamic modeling approach**. Univ. Neuchatel. Thèse. 134:
- Mangin, A. (1982): **Mise en evidence de l'originalite et de la diversite des aquiferes karstiques**. *Ann.Sci.Univ.Besancon, Trois. Coll. Hydrogeol. Pays Calcaire* :159-172
- March Delgado, C. & L.F. Molerio León (1987): **A General Approach To An Algorithm For Groundwater Flow in Karstic Aquifers. Hydro- And Thermodynamical Considerations**. Internatl. Symp. Groundwater Monitoring and Management, Dresden, GDR, 21:
- Martel, Édouard-Alfred (1896): **Applications géologiques de la spéléologie : origine et rôle des cavernes, leurs variations climatériques, leurs rapports avec les filons**, Extrait des *Annales des Mines*, vve Ch. Dunod et P. Vicq, Eds., Paris, 100:
- Martonne, Emmanuel de (1913): **Traité de géographie physique**. Librairie Armand Colin, 477:
- Molerio León, Leslie F. (1982a): **Análisis de un Modelo Teórico de la Conductividad Hidráulica en el Karst**. *Bol. Grupo Espel. Martel de Cuba, La Habana* (4):6
- Molerio León, Leslie F. (1984): **El Efecto del Factor de Escala en la Interpretación del Campo Físico de las rocas carsificadas**. Resúmen. XXVII Internatl. Geol. Congr., Abril 4-14, 1984, Moscú, Vol VII, Secc. 16,:468-469. Véase, *Voluntad Hidráulica* 75:19-26
- Molerio León, Leslie F. (1985a): **Dominios de Flujo y Jerarquización del Espacio en Acuíferos Cárnicos**. *Simp. XLV Aniv.Soc. Espel. Cuba, La Habana*: 54; In/Núñez Jiménez, A. (1990): **Medio siglo explorando a Cuba. Historia documentada de la Sociedad Espeológica de Cuba**. Tomo II, Imprenta Central de las FAR, La Habana, :322, <https://www.researchgate.net/publication/344398777>

- Molerio León, Leslie F. (1985b): **Pronóstico de Vías Preferenciales de Circulación en el Karst.** Simp. XLV Aniv.Soc. Espel. Cuba, La Habana,:52-53
- Molerio León, Leslie F. (1986a): **Determinación de la Conductividad Hidráulica Direccional en Acuíferos Cársicos Mediante Fotointerpretación y Cálculo Tensorial.** Encuentro Técnico Ramal de Hidroeconomía, La Habana: 66
- Molerio León, Leslie F. (1986b): **Fundamentos Hidrodinámicos y Termodinámicos para la Predicción Empírica de la Posición, Distribución y Geometría de las Redes de Cavernas.** Encuentro Técnico Ramal de Hidroeconomía, La Habana: 67-68
- Molerio León, Leslie F. (1988): **Particularidades de la Transformación Matemática de Un Modelo Conceptual del Karst. Conferencia Invitada.** Taller Internac. Hidrol. Cársica de la Región del Caribe, UNESCO, La Habana, 10:
- Molerio León, Leslie F. (1989a): **Aproximación Multidisciplinaria a un Modelo Matemático del Desarrollo del Karst.** *Ing. Hidráulica*, La Habana, X(2):133-144
- Molerio León, Leslie F. (1989b): **¿Podemos Simular la Evolución del Karst?.** Jor. Cient. Cté. Espel.Prov.Villa Clara, Remedios,:23
- Molerio León, Leslie F. (1989c): **El Origen de las Cavernas.** Jor. Cient. Cté. Espel.Prov.Villa Clara, Remedios,:26
- Molerio León, Leslie F. (1990): **Simulación Matemática del Desarrollo de las Cavernas.** Congr. 50 Aniv.Soc.Espel. Cuba, La Habana: 55
- Molerio León, Leslie F. (1992a): **Complementos de un Modelo de Simulación Matemática del Desarrollo del Karst.** GTICEK. Taller Internac. sobre Cuencas Experimentales en el Karst, Matanzas, Publ. Universitat Jaume I de Castelló,:83-92
- Molerio León, Leslie F. (1992b): **Distribución del Cavernamiento en las Sierras del Pesquero, San Carlos, Resolladero y Mesa, Pinar del Río Cuba.** II Cong. Espel. Latinoamérica y el Caribe, Viñales, Pinar del Río, Cuba,:19-20
- Molerio León, Leslie F.(1995): **Mathematical Modelling of Cave Systems. Developments and Achievements.** Internatl. Geogr. Union (IGU) Conf. of Latin America and Caribbean Countries, La Habana, 38:
- Molerio León, L.F.(2003a): **Modelo del desarrollo de cavernas y conductos cársicos.** V Congreso Cubano de Geología y Minería. Memorias Geomin 2003,La Habana, Marzo 24-28 GQGC 09,: 84-91,
- Molerio León, L.F.(2003b): **Simulación matemática de los procesos de carsificación, cavernamiento (espeleogénesis) y migración de hidrocarburos en sistemas hipogenéticos.** VI Taller Internacional Informática y Geociencias, La Habana, 6:
- Molerio León, L.F.(2004):**Procesos de cavernamiento (espeleogénesis) en sistemas hipogenéticos.** Ing. Hidr. y Ambiental, La Habana, XXV(2):39-43
- Molerio León, L.F. (2005): **Problemas y perspectivas de la investigación geoespeleológica en Cuba...30 años después.** El Explorador, Periódico Digital Espeleológico, La Habana, No. 19, Noviembre 26, 2005
- Molerio León, L.F. (2006) **Introducción a la Hidrogeología Cársica.Noveno Curso Internacional de Agua Subterránea y Medio Ambiente** (Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos; Centro de Investigaciones Hidráulicas ISPJAE), La Habana, 45:
- Molerio León, L.F. (2007): **Thermo dynamical approach to cave development simulation (MTDC) in epigenetic karst.** Geophysical Research Abstracts, Vol. 9, 01843, 2007, SRref-ID: 1607-7962/gra/EGU2007-A-01843, European Geosciences Union 2007
- Molerio León, L.F. (2013a): **Ecuaciones de intercambio termohidrodinámico entre medios continuos múltiples en el karst y sus consecuencias ambientales.** Cub@: Medio Ambiente y Desarrollo; Revista electrónica de la Agencia de Medio Ambiente. Año 13, No.24, 2012 ISSN-1683-8904, La Habana, 15:  
<http://ama.redciencia.cu/articulos.php?sid=91529a91e366de61e4ac7b8e3f27fb89>
- Molerio León, L.F. (2013b): **Morfodinámica e hidrodinámica del karst según un modelo de interacción entre medios continuos múltiples (2): Ecuaciones de intercambio.**

[Mapping Latino](#), 19 agosto 2013,

20: <http://mappinglatino.com/blog/2013/08/19/morfodinamica-e-hidrodinamica-del-karst-segn-un-modelo-de-interaccion-entre-medios-continuos-multiples-2-ecuaciones-de-intercambio/>

- Molerio León, L.F. (2013c): **Descripción General de la Aproximación Termodinámica a la Simulación del Desarrollo de Cavernas y Conductos Cársicos (MTDC)**. *Mundos Subterráneos UMAE, Unión Mexicana de Agrupaciones Espeleológicas*, 25:9-19.
- Molerio León, L.F. (2013d): **Evidencias de carsificación y cavernamiento mixto epi-hipogenético en la Cobertura Neoa autóctona de la Franja de Crudos Pesados del Norte de La Habana-Matanzas**. *Mapping Latino*. 2 Septiembre 2013, 17: <http://mappinglatino.com/blog/2013/09/02/evidencias-de-carsificacion-y-cavernamiento-mixto-epi-hipogenetico/>
- Molerio-León, L.F. (2020): **Carsificación y cavernamiento desde la perspectiva de la singularidad hidrodinámica**. *Argentina Subterránea*, 20(47-48):45-60. <https://www.researchgate.net/publication/345344217>
- Molerio-León, L.F. (2021): **El factor hidráulico en la identificación de “niveles de cavernamiento” en cuevas transfluentes: un tema no considerado**. *Cuadernos de Geomorfología de Cuba, CubaGeográfica*, 2. Diciembre 2021:1-48 <https://www.researchgate.net/publication/356893651>
- Molerio-León, L.F. (2023): **Tipos de cuevas cubanas y procesos diferenciados de carsificación y cavernamiento**. *Gota a gota*, nº 29: 74-88. <https://www.researchgate.net/publication/373213056>
- Molerio León, Leslie F.; Yoemí Portuondo López & Yamilé Bustamante Allen (1996): **Migración de Hidrocarburos en Acuíferos Cársicos. Factores de Control de Transporte y pronóstico del Movimiento**. *Taller Nac. Manejo de Desastres por Derrame de Hidrocarburos, Estado Mayor Nac. Def.Civ, Sherritt Co., Geopetrol., C. de La Habana*, :19.
- Molerio León, Leslie F.; M.G. Guerra Oliva; E. Flores Valdés & E. Rocamora Alvarez (1998): **Hydrogeological Prospecting with Geomathematical Tools in Karstic and Fissured Non-Karstic Aquifers**. *Internatl. Symp. Hydrology in the Humid Tropic Environment, Kingston, Jamaica, AIHS*,:337-345
- Molerio León, Leslie F. y Julio J. Valdés Ramos (1975): **Problemas y Perspectivas de la Investigación Geoespeleológica en Cuba**. *Tecnológica*, La Habana, XIII(3):32-35
- Molerio León, L.F. y E. Grau González (2011): **Episodios hipogenéticos de carsificación y espeleogénesis en el territorio de La Cachorra-Santa Marta, Matanzas**. *El Explorador*, Periódico digital espeleológico, Cuba, No. 89, Septiembre 30, 2011:1-4.
- Molerio León, L.F.; M.G. Guerra Oliva, R.M. Leal (2013): **Modelo Difusivo de Transporte de Masa (Algoritmo Adriana, Versión 2.91) y Curvas de Retención de Humedad en la Zona No Saturada de los acuíferos cársicos (Modelo RETC)**. *Aplicación a las cuevas del tercio superior del curso subterráneo del río San Antonio, Artemisa, Cuba*. *Mapping Latino*. 23 Septiembre 2013, 51: <http://mappinglatino.com/blog/2013/09/23>
- Molz, Fred J., James W. Castle, Silong Lu (2003): **The Fractal/Facies Concept: An Alternative to Using Variograms for Generating Subsurface Heterogeneity**. *AAPG Annual Convention May 11-14, 2003, Salt Lake City, Utah*, 1:
- Monterrubio Velasco, Marisol, Denis Boyer (2017): **Simulación del crecimiento fractal de las cuevas subacuáticas de Quintana Roo con el modelo de agregación limitada por la difusión**. *Computación y Sistemas*, 11(1):45–55
- Morse, J.W. y R.A. Berner (1972): **Dissolution kinetics of calcium carbonate in sea water. II/ A kinetic origin for the lysocline**. *Amer. Jour. Sci.*, 272:840-851
- Mylroie, J.E.; J.L. Carew (1986): **Minimum duration of speleogenesis**. *9<sup>th</sup> Internatl. Congr. Speleol.*, Barcelona, 1:249-251

- Netushil, A. (1987): **Teoría del mando automático. Sistemas no lineales y mando en el caso de acciones aleatorias.** Edit. Mir, Moscu, 504:
- Palmer, A.N. (1975): **The origin of maze caves:** Bulletin of the National Speleological Society, v. 37, no. 3, p. 56–76.
- Palmer, A.N. (1995): **The origin of maze caves.** Natl. Speleol. Soc. Bull.37:56-76
- Palmer, A.N. (1981): **Hydrochemical controls in the origin of limestone caves.** Proc. 8<sup>th</sup> Internatl. Congr. Speleolo., Bowling Green, Kentucky:120-122
- Palmer, A.N. (1987): **Cave levels and their interpretation.** NSS Bull. 49:50-66
- Palmer, A.N. (1988): **Solutional enlargement of openings in the vicinity of hydraulic structures in Karst regions.** Proc. 2<sup>nd</sup>. Internatl. Conf. Environmental Problems in Karst Terrains, Ass. Groundwater Scientists and Eng., Dublin, Ohio:3-13
- Palmer, A.N. (1989): **Stratigraphic and structural control of cave development and groundwater flow in the Mammoth Cave region,** in White, W.B., and White, E.L., eds., Karst Hydrology: Concepts from the Mammoth Cave area: New York, Van Nostrand Reinhold,p. 293–316.
- Palmer, A.N. (1991): **Origin and morphology of limestone caves.** Geol. Soc. America Bull, 103:1-21
- Palmer, A.N. (1998): **Modelling the evolution and morphology of limestone caves.** Bull. Hydrogeol. ,Centre Hydrogeol. Univ. Neuchatel, 16:157-165
- Palmer, A. N. (2000): **Digital modelling of individual solution conduits.** In: Klimchouk A., Ford D. C., Palmer A. N. and Dreybrodt W. (Ed.), Speleogenesis. Evolution of karst aquifers. Huntsville: Natl. Speleol. Soc.:194-200.
- Palmer, Arthur N. (2007): **Cave geology and speleogenesis over the past 65 years: role of the National Speleological Society in advancing the Science.** Journal of Cave and Karst Studies, v. 69, no. 1, p. 3–12.
- Palmer, A.N., M.V. Palmer, I.D. Sasowsky, eds., (1999): **Karst modeling.** Karst Waters Institute, Charles Town, W.Va., Special Publication 5;48–57.
- P Pardo-Igúzquiza, Eulogio, Peter A. Dowd, Juan J. Durán, Pedro Robledo-Ardila (2019): **A review of fractals in karst.** International Journal of Speleology, 48 (1), 11-20.
- Reimann, Thomas (2012): **Adaptation of Numerical Modeling Approaches for Karst Aquifer Characterization.** Tech, Univ. Dresden, 67:
- Scheidegger, A. E. (1983): **Instability principle in geomorphic equilibrium.** Z. Geomorph. 27, 1–19, 1983.
- Scheidegger, Adrian E. (1991): **Theoretical Geomorphology.** Springer, 434:
- Stephansson, O., J. Hudson, J. Lanru (2004): **Coupled Thermo-Hydro-Mechanical-Chemical Processes in Geosystems,**vol. 2, Elsevier Science.
- Szymczak, P., A. J. C. Ladd (2006): **A network model of channel competition in fracture dissolution.** Geophys. Res. Lett. 33, L05401.
- Szymczak, P., and A. Ladd (2009): **Wormhole formation in dissolving fractures,** J. Geophys. Res., B, 114(6).
- Szymczak, P., A. J. C. Ladd (2011a): **The initial stages of cave formation: beyond the one-dimensional paradigm.** Earth Planet. Sci. Lett. 301, 424–432.
- Szymczak, P., A. J. C. Ladd (2011b): **Instabilities in the dissolution of a porous matrix.** Geophys.Res. Lett. 38, L07403.
- Szymczak, Piotr, Anthony J. C. Ladd (2012): **Reactive-infiltration instabilities in rocks.** Fracture dissolution. J. Fluid Mech. (2012), vol. 702, :239-264. doi:10.1017/jfm.2012.174
- Terlietsky, P. (1975): **Física estadística.** Edit. Revolucionaria, La Habana, 360:
- Thrailkill, J. (1968): **Chemical and hydrologic factors in the excavation of limestone caves.** Geol.Soc.Amer.Bull., 79(1):19-46

- Werner Spiller, Martin (2004): **Physical and Numerical Experiments of Flow and Transport in Heterogeneous Fractured Media: Single Fracture Flow at High Reynolds Numbers, and Reactive Particle Transport.** National Polytechnique de Toulouse zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Ingenieurwissenschaften genehmigte Dissertation, 252:
- White, William B. (1976): **Role of solution kinetics in the development of Karst aquifers.** in/ Tolston, J. y F. L. Doyle (editors): **Karst Hydrogeology.** Proc. 12 Congr. AIH, Alabama:503-517
- White, William B. (2002): **Karst hydrology: recent developments and open questions.** Engineering Geology 65 (2002) 85–105

# **Exploración de Representaciones Sociales sobre la Ley de Educación Ambiental Integral 27621 en Profesores de Ciencias Naturales de Buenos Aires: Perspectivas e insumos en el marco de la Reforma Curricular.**

Peretti, Luis - UNIPE- ISFDN°99 - [luispperetti@gmail.com](mailto:luispperetti@gmail.com)

Furci, Victor – UNIPE - [vfruci@gmail.com](mailto:vfruci@gmail.com)

Marcela Gelvez - DGCyE - ISFDN°99 [mgelvez@abc.gob.ar](mailto:mgelvez@abc.gob.ar)

Trinidad , Oscar - UNIPE- ISFDN°99 - [oscar.trinidad@unipe.edu.ar](mailto:oscar.trinidad@unipe.edu.ar)

## **Resumen Ampliado**

*La sanción de la Ley de Educación Ambiental Integral 27621 (LEAI) es un hito que explícitamente señala la necesidad de promover el desarrollo de procesos educativos integrales en el que dialoguen democráticamente conocimientos, saberes, valores, aspectos económicos, históricos y políticos que subyacen al interior de conflictos ambientales locales y globales.*

*En este sentido, la provincia de Buenos Aires ha iniciado en 2023, la implementación de una transformación curricular que en línea con los fundamentos de la LEAI, propone la construcción de un posicionamiento ético, político y pedagógico que fortalezca el ejercicio ciudadano comprometido con una perspectiva ambiental sana, diversa y crítica. Esta transformación educativa, involucra a un universo de institutos de formación docente enorme y supone en principio, que los agentes del estado que tienen a su cargo la formación inicial docente serán los puntales de esta transformación cultural. Sería ingenuo aceptar la hipótesis que el universo de los profesores bonaerenses, comparten las conceptualizaciones sobre nociones tales como ambiente, desarrollo, conflicto ambiental, diálogo de saberes, interdisciplina, modelos e intereses económicos, perspectivas éticas sobre la biodiversidad, respeto a la diversidad cultural o una valoración ética de las luchas sociales por la distribución de la riqueza. Por ello, el cambio didáctico del profesorado (Mellado Jiménez, 2003) supone una intervención estatal para promover espacios de formación continua y de reflexión que promuevan la resignificación de las relaciones naturaleza-biodiversidad-equidad-desarrollo en el contexto de la territorialización de conflictos socio-ambientales de impacto local.*

*El marco de la ley establece lineamientos de un contrato social que convoca a la construcción de una nueva racionalidad epistemológica y ontológica, que organice y articule saberes, valores, prácticas y perspectivas para fortalecer la formación de una ciudadanía que se perciba como sujeto de derecho a vivir en un ambiente sano, digno y sustentable. La lógica que tracciona esta transformación apunta a lograr que cada persona sea agente en la construcción de una perspectiva contracultural que tensione las lógicas de producción económica extractivista y/o de alto impacto ambiental que en definitiva, concentra la riqueza en unos pocos y condena a los pueblos al empobrecimiento económico, cultural y ambiental. En esta estrategia de construcción de una perspectiva de justicia social en términos de preservación de la naturaleza y la salud de las personas, la diversidad cultural, el derecho a participar de las decisiones que afecten los territorios, las economías regionales y formas de vida de las sociedades; la Escuela es la agencia a través de la cual, el Estado materializa la formación ciudadana en estas perspectivas éticas, filosóficas y políticas.*

*En cualquier caso, las líneas políticas que atraviesan la formación ciudadana, se explicitan a través de sus marcos regulatorios y los Diseños Curriculares de cada Jurisdicción, nivel y modalidad. En el caso específico de la provincia de Bs. As, y en referencia a la gestión curricular, sigue teniendo vigencia el documento Marco General de Política Curricular donde se realiza un encuadre de la Educación ambiental (EA) desde una perspectiva crítica y etnográfica. (Iribarren et al., 2023). Sin embargo, en la letra de los diferentes diseños vigentes en la provincia, coexisten perspectivas fragmentadas, contradictorias, vetustas y/o ausencias, que en definitiva, también hablan de la relevancia política que se le otorgó a la EA en el momento de definir los irrenunciables que se explicitan en los diseños curriculares jurisdiccionales.*

*En este sentido, en los últimos años, la provincia de Bs.As. ha incluido la EA dentro de las líneas políticas prioritarias implementando diferentes estrategias de intervención en cada nivel educativo y modalidad. Una de las acciones más radicales, fue la reformulación de los diseños curriculares de ocho carreras de formación inicial de profesores, en las que se incluye la EA explícitamente como materia específica y como perspectiva transversal. Esta transformación curricular en la formación docente inicial es acompañada por una serie de propuestas para fortalecer la formación permanente. En toda intervención formativa, la provincia recupera los lineamientos de la LEAI subrayando la necesidad de territorializar los conflictos ambientales desde perspectivas pedagógicas y epistemológicas que interpelan el patrón colonial de poder que impregna a América Latina y hegemoniza la producción de los conocimientos y subjetividades.*

*Este propósito de la educación formal, confronta con un contexto social atiborrado de falacias, distorsiones históricas, discursivas, cancelaciones y propagandas en las que se disputa la construcción de sentidos y enfoques políticos. En esta lucha, la reemergencia de gobiernos neoliberales en Argentina, es clara evidencia que se logró instalar fuertemente, en un vasto sector social, interpretaciones de los fenómenos sociales individualistas, punitivos y privatistas (Nosseto, 2017). Este sentido común, que muchas veces atenta contra los propios intereses de las personas que lo sostienen, son emergentes de representaciones sociales construidas sobre la fragmentación de la información y la intrusión constante de fake news como estrategias de intervención traccionada por bots en redes sociales. Esta línea, es analizada profundamente por el filósofo surcoreano Byung-Chul Han, quien acuñó el término shitstorms para referirse al contenido insidioso, anónimo y viralizado que opera como pábulo en la construcción de discursos de odio como estrategia hegemónica.*

*Es por ello, que creemos que conocer algunos aspectos culturales, modelos, teorizaciones, imágenes y creencias, del profesorado en torno a la perspectiva ambiental podría aportar a la materialización real del cambio curricular. Sostenemos que la teoría de las representaciones sociales (RS), (Moscovici, 1981), es un marco pertinente para explorar estos aspectos representacionales del profesorado y traccionar cambios didácticos.*

*En general los cambios curriculares suelen poner el acento en cuestiones de orden académico utilizando estos marcos aggiornados como matriz analítica de problemas genéricos. En este sentido, en la década del 90, la investigación didáctica ha señalado que difícilmente se materialice una transformación curricular si no contribuye a satisfacción profesional, si no se presta atención a la dimensión personal y si no se entienden los sentimientos, motivaciones, disponibilidad, compromiso y estabilidad emocional para hacerlo (Hargreaves, 1996). Es por ello, que creemos que conocer algunos aspectos culturales, modelos, teorizaciones, imágenes y creencias, del profesorado en torno a la perspectiva ambiental podría aportar a la consolidación real del cambio curricular.*

*Nuestro trabajo en desarrollo, recurre metodológicamente al uso de técnicas cualitativas propias del enfoque clásico en el estudio de las RS. Utilizamos técnicas de análisis de diversas interacciones discursivas sobre entrevistas en profundidad realizadas a docentes de educación superior en ejercicio de diversas disciplinas. Para esta tarea, ensayamos una innovación metodológica, que es la utilización del Inteligencia Artificial (IA) como herramienta facilitadora en el análisis sintáctico y de recurrencia de distinto tipo de palabras que comparamos con técnicas de análisis discursivo.*

*Con esta herramienta analizamos en principio, cuestionarios autoadministrados en formato de audio, de 16 docentes en ejercicio que asisten a un curso de formación docente sobre EAI ofrecido por la Dirección de Formación Permanente de la DGCyE.*

*Aunque aún no tenemos resultados definitivos, nuestra hipótesis supone una diversidad de enfoques que no necesariamente se alinean con los lineamientos curriculares en materia de educación ambiental y suponen enfoques extractivistas, negacionistas o posicionamientos apáticos subyacentes y contradictorios con sus expresiones profesionales.*

### **Extended Summary**

*The enactment of the Comprehensive Environmental Education Law 27621 (LEAI) is a milestone that explicitly points out the need to promote the development of comprehensive educational processes in which knowledge, knowledge, values, economic, historical and political aspects that underlie local and global environmental conflicts dialogue democratically.*

*In this sense, the province of Buenos Aires has begun in 2023, the implementation of a curricular transformation that, in line with the foundations of the LEAI, proposes the construction of an ethical, political and pedagogical positioning that strengthens the exercise of citizenship committed to a healthy, diverse and critical environmental perspective. This educational transformation involves a huge universe of teacher training institutes and supposes, in principle, that the agents of the state who are in charge of initial teacher training will be the pillars of this cultural transformation.*

*It would be naïve to accept the hypothesis that the universe of Buenos Aires professors share the conceptualizations of notions such as environment, development, environmental conflict, dialogue of knowledge, interdiscipline, economic models and interests, ethical perspectives on biodiversity, respect for cultural diversity or an ethical assessment of social struggles for the distribution of wealth. For this reason, the didactic change of teachers (Mellado Jiménez, 2003) implies a state intervention to promote spaces for continuous training and reflection that promote the resignification of nature-biodiversity-equity-development relationships in the context of the territorialization of socio-environmental conflicts of local impact.*

*The framework of the law establishes guidelines for a social contract that calls for the construction of a new epistemological and ontological rationality, which organizes and articulates knowledge, values, practices and perspectives to strengthen the formation of a citizenship that is perceived as a subject of the right to live in a healthy, dignified and sustainable environment. The logic that drives this transformation aims to ensure that each person is an agent in the construction of a countercultural perspective that stresses the logics of extractivist economic production and/or high environmental impact that, in short, concentrates wealth in the hands of a few and condemns peoples to economic, cultural and environmental impoverishment.*

*In this strategy of building a perspective of social justice in terms of the preservation of nature and people's health, cultural diversity, the right to participate in decisions that affect territories, regional economies and ways of life of societies; the School is the agency through which the State materializes citizen education in these ethical, philosophical and political perspectives.*

*In any case, the political lines that run through citizenship training are made explicit through their regulatory frameworks and the Curricular Designs of each Jurisdiction, level and modality. In the specific case of the province of Buenos Aires, and in reference to curricular management, the General Framework of Curricular Policy document is still valid, where a framework of Environmental Education (EE) is made from a critical and ethnographic perspective. (Iribarren et al., 2023). However, in the letter of the different designs in force in the province, fragmented, contradictory, outdated perspectives and/or absences coexist, which in short, also speak of the political relevance that was given to EE at the time of defining the inalienables that are explicit in the jurisdictional curricular designs.*

*In this sense, in recent years, the province of Bs.As. has included EE within the priority policy lines, implementing different intervention strategies at each educational level and modality. One of the most radical actions was the reformulation of the curricular designs of eight initial teacher training careers, in which EE is explicitly included as a specific subject and as a transversal perspective. This curricular transformation in initial teacher training is accompanied by a series of proposals to strengthen lifelong learning. In all training interventions, the province recovers the guidelines of the LEAI, emphasizing the need to territorialize environmental conflicts from pedagogical and epistemological perspectives that question the colonial pattern of power that permeates Latin America and hegemonizes the production of knowledge and subjectivities*

*This purpose of formal education confronts a social context crammed with fallacies, historical and discursive distortions, cancellations and propaganda in which the construction of meanings and political approaches is disputed. In this struggle, the re-emergence of neoliberal governments in Argentina, it is clear evidence that interpretations of individualistic, punitive and privatist social phenomena were strongly installed in a vast social sector (Nosseto, 2017). This common sense, which often goes against the interests of the people who support it, emerges from social representations built on the fragmentation of information and the constant intrusion of fake news as intervention strategies pulled by bots in social networks.*

*This line is deeply analyzed by the South Korean philosopher Byung-Chul Han, who coined the term shitstorms to refer to the insidious, anonymous and viral content that operates as fodder in the construction of hate speech as a hegemonic strategy.*

*That is why we believe that knowing some cultural aspects, models, theorizations, images and beliefs of teachers around the environmental perspective could contribute to the real materialization of curricular change. We argue that the theory of social representations (SR) (Moscovici, 1981) is a pertinent framework for exploring these representational aspects of teachers and driving didactic changes.*

*In general, curricular changes tend to emphasize academic issues, using these updated frameworks as an analytical matrix of generic problems. In this sense, in the 90s, didactic research has indicated that it is difficult for a curricular transformation to materialize if it does not contribute to professional satisfaction, if attention is not paid to the personal dimension, and if the feelings, motivations, availability, commitment, and emotional stability to do so are not understood (Hargreaves, 1996). That is why we believe that knowing some cultural aspects, models, theorizations, images and beliefs of teachers around the environmental perspective could contribute to the real consolidation of curricular change.*

*Our work in development methodologically resorts to the use of qualitative techniques typical of the classical approach in the study of SR. We use techniques for the analysis of various discursive interactions on in-depth interviews conducted with practising higher education teachers from various disciplines. For this task, we tested a methodological innovation, which is the use of Artificial Intelligence (AI) as a facilitating tool in the syntactic and recurrence analysis of different types of words that we compare with discursive analysis techniques.*

*With this tool, we analyzed, in principle, self-administered questionnaires in audio format, of 16 practicing teachers who attend a teacher training course on EAI offered by the Directorate of Lifelong Learning of the DGCyE.*

*Although we do not yet have definitive results, our hypothesis assumes a diversity of approaches that do not necessarily align with the curricular guidelines in environmental education and involve extractivist approaches, denialists or underlying apathetic positions that are contradictory to their professional expressions.*

## **Bibliografía**

Hargreaves, A. (1996) Transformar el conocimiento: desdibujar los límites entre investigación, políticas y práctica.

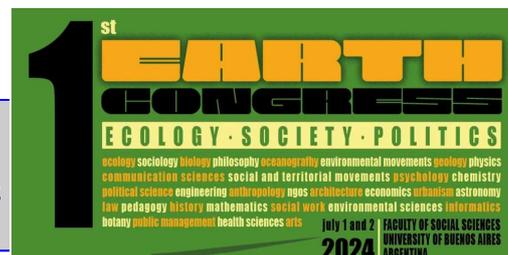
Iribarren, L.; Guerrero Tamayo, K.; Ithuralde, R.; Dumrauf, A.; Cordero, S. (2023) Educación Ambiental y diseños curriculares de la Educación Secundaria Básica de la provincia de Buenos Aires: análisis crítico en el contexto de la nueva legislación nacional. *Praxis educativa*, Vol. 27, No 3 septiembre-diciembre 2023. pp. 1-24.

Mellado Jimenez, V. (2003) Cambio didáctico del profesorado de ciencias experimentales y filosofía de la ciencia Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas. 2003, v. 21, n. 3, noviembre; p. 343-358

Moscovici, S. (1981). Representaciones sociales. *Universidad Complutense de Madrid*.

Nosetto, L. (2017) El sentido común en la teoría del Estado de Antonio Gramsci. *Reflexiones con vistas al porvenir sudamericano Las torres de Luca* N° 11 Julio-Diciembre: 131-153

**Trabajo presentado en Julio de 2024 en la Mesa 26 del I Congreso de la Tierra, Facultad de Ciencias Sociales—UBA, Buenos Aires ...** <https://lunacvc.org/congresos/> - <https://lunacvc.org/wp-content/uploads/2024/12/actas-congreso-de-la-tierra.pdf>



# LA ESPELEOLOGÍA Y LA EDUCACIÓN AMBIENTAL PARA EL DESARROLLO SUSTENTABLE

Mónica Susana Grinschpun

[monicagrins@yahoo.com.ar](mailto:monicagrins@yahoo.com.ar)

...” La construcción de una racionalidad ambiental implica la formación de un nuevo saber y la integración interdisciplinaria del conocimiento para explicar el comportamiento de sistemas socioambientales complejos” ...  
Enrique Leff. “El saber ambiental, sustentabilidad, racionalidad, complejidad, poder” PNUMA, Siglo XXI, pág. 180

## **Resumen:**

*Se analiza la importancia de enriquecer la enseñanza básica de las ciencias naturales en la educación básica y secundaria, con la incorporación de la Espeleología, disciplina casi totalmente desconocida para la población. Se enfatiza la importancia del agua como común denominador de todas las preocupaciones ambientales y, en el caso de las cavernas en la región cordillerana (Cuenca Neuquina), la situación frágil de los campesinos ganaderos transhumantes (puesteros). Se dan algunas ideas sobre cómo funcionan las aguas subterráneas, actualizando el esquema circular simplificado que suele enseñarse en las escuelas e incorporando las aguas kársticas*

## **Summary:**

*The importance of enriching the basic teaching of natural sciences in basic and secondary education is analyzed, with the incorporation of Speleology, a discipline almost totally unknown to the population. The importance of water as a common denominator of all environmental concerns is emphasized and, in the case of the caves in the Andean region (Neuquén Basin), the fragile situation of transhumant cattle ranchers (puesteros). Some ideas are given on how groundwater works, updating the simplified circular scheme that is usually taught in schools and incorporating karst waters*

En la actualidad y desde hace más de 30 años nos encontramos en el mundo con una realidad que determina que cientos de miles de personas sean arrojadas por el desarraigo y el desamparo a formar parte del ejército global del desempleo quedando así, condenados a perderse en la fantasmal desmemoria del resto, de aquellos que aún pertenecen a la “sociedad”. Estos “Refugiados Ambientales” (tal como los enuncia Naciones Unidas) habitan espacios y tiempos diferentes a los reconocidos tanto en los medios de comunicación como en la educación, y se refugian en el interior de sí mismos o en los intersticios contaminados de villas y barrios populares de las áreas metropolitanas de todo el país, asentamientos en grandes extensiones del conurbano bonaerense o en barrios a los que aún no han llegado los servicios indispensables para una vida saludable. **En el caso que nos ocupa y al que tomaremos como ejemplo, debemos plantear la situación de los puesteros y la situación por la que atraviesan con la empresa “El azufre”, hecho denunciado y analizado por Benedetto.**

**A partir de estos enunciados podemos decir que uno de los aspectos centrales a analizar es el agua y desde aquí podemos hacer la unión con las “cavernas”.**

Este ambiente, el cavernario, que es analizado por los espeleólogos resulta desconocido a la población en general, a los diseños curriculares de las escuelas secundarias como así tampoco en algunos ámbitos universitarios en los que se desarrollan temas “ambientales” como también en la difusión científica.

La importancia y la problemática del agua es ampliamente conocida por todos nosotros, sabemos sobre:

- las penurias humanas y de la vida en general ante la carencia de agua
- los costos sociales que son incommensurables,
- también los gastos negativos que forman parte de los presupuestos de la salud pública para atender los problemas de salud individual y colectiva que se devienen de la contaminación del agua.
- el modelo actual, modelo contaminante de producción en general, es una forma de robo al presente y al futuro de cada uno de los habitantes y un subsidio encubierto a los grupos concentrados.
- reconocemos las investigaciones que han desarrollado nuestros científicos sobre el tema como Andrés Carrasco y tantos otros.
- Erosión, desertificación, contaminación y su relación con una concepción del conocimiento y el desarrollo fraguados en el modo lineal de la política, de la producción y la economía en general.

Estos son algunos aspectos ampliamente difundidos, aunque no necesariamente relacionados en el pensamiento de la población ni en los estudiantes.

Entendemos entonces que este tema tiene amplia relación con el conjunto de variables que se abordan desde la concepción de ambiente sustentable al que adscribimos.

Veamos entonces las diferencias entre desarrollo sustentable y desarrollo sostenible. Esta dos formas de enunciar al desarrollo encierra grandes diferencias.

Las catástrofes por las inundaciones o las sequías, por ejemplo, en diferentes zonas del país no son sólo catástrofes naturales, son catástrofes también producidas por un modelo de conocimiento y apropiación de la naturaleza, que ha impregnado el desarrollo agrario, las agroindustrias, el ordenamiento territorial, el formato de los sistemas de transporte, los procesos de planificación urbana, entre algunos puntos que podríamos enunciar sobre esta problemática. Son parte de la expresión ideológica de la globalización y del desarrollo “sostenible” de cuño individualista y posesivo.

Se debe puntualizar que el **desarrollo sostenible** se basa en la **huella ecológica**. La huella ecológica tomada como unidad de medida significa la cuantificación de la cantidad de energía que cada individuo necesita. Esta “medida” fue acuñada en Europa en la década de los 80 con el auge del neoliberalismo.

**La sustentabilidad en cambio, implica hacemos cargo de la osadía del pensamiento para repensar la Argentina y el resto del mundo. La sustentabilidad es el análisis complejo del ambiente, es mucho más abarcativa teniendo en cuenta al ambiente, lo social, lo económico, lo político y lo cultural. Refiere a la idea de transdisciplinariedad, a una mirada sistémica**

**Será entonces a partir de la idea de sustentabilidad que intentaremos relacionar las cavernas y el ambiente en sentido amplio.**

Podemos entonces tomar las cavernas como lo desarrollado por los espeleólogos como un ambiente en si mismo o intentar ponerlas en el interior de ambientes en sentido amplio, como una parte que interactúa en esta idea de ambiente.

El abordaje desde una perspectiva multidimensional y transdisciplinaria permitirá articular la problemática territorial (al interior del “sistema caverna”) en consonancia con las identidades culturales, abrirá los cauces para una reconciliación entre política, cultura, economía, tecnología y naturaleza, pues la comprensión de la complejidad ambiental como un proceso hecho de naturaleza, tecnología y por ende de cultura, evitará las visiones fragmentarias y sentará los principios solidarios encauzados por una concepción enraizada en la equidad y la diversidad.

Y a partir de estos análisis de apertura del “sistema caverna” al ambiente en sentido amplio se intentará relacionar las investigaciones espeleológicas tan importantes planteadas por Benedetto con los conocimientos que son indispensables que se aborden tanto hacia la población en general y la educación primaria, secundaria y universitaria ya que estos conocimientos no forman parte de los diseños curriculares de estos niveles formativos.

Tal como plantea Carlos Galano: ...

“La modernidad ha forjado una racionalidad científica, tecnológica y económica que ha desencadenado una capacidad transformadora de la naturaleza sin precedentes. El poder de la ciencia y la tecnología ha ejercido un dominio de la naturaleza fundada en el conocimiento objetivo e instrumental, pero que ha desconocido la organización ecosistémica del planeta –su condición de sustentabilidad y la organización de las culturas que habitan sus territorios de vida. La racionalidad económica ha generado un proceso progresivo y acumulativo de producción a través de una racionalidad económica que se ha globalizado imponiendo su valorización de corto plazo a las dinámicas y temporalidades ecológicas y culturales de largo plazo. La racionalidad instrumental y la idea del progreso han generado un crecimiento económico sin límites, fundado en el consumo de una naturaleza ilimitada, un proceso incapaz de estabilizarse en la vía de una coevolución de los procesos naturales y sociales y de un equilibrio de los procesos entrópicos y neguentrópicos del planeta, que sea sustentable a largo plazo...”

## **2- La educación y su lugar en las problemáticas ambientales**

La construcción de un nuevo saber, un saber que permita explicar el comportamiento de los sistemas socioambientales es tal vez uno de los grandes desafíos de la sociedad actual. Cuando pensamos de esta manera a la sociedad pensamos también a la escuela, escuela que se encuentra absolutamente inmersa en la enseñanza fraccionada, armada sobre disciplinas compartimentadas aún dentro de un área de conocimiento que puede llegar a pensarse dentro de las “ciencias ambientales”.

**La crisis ambiental es la crisis de nuestro tiempo.** No es sólo una crisis ecológica, sino que también **están** implicadas la visión social y la visión científica que la circunda. Es por ello que, al pensar en el “sistema caverna” nos encontramos con visiones sesgadas.

El tratamiento tradicional de los problemas socioambientales y por ende la complejidad de la realidad social en el campo educativo supone la unificación de una perspectiva simplificadora de la realidad en la que cualquier intento de explicación de los procesos de enseñanza y aprendizaje conlleva una dispersión de los mismos en diversas parcelas de estudio, que son competencia a su vez de diferentes especialistas. **Cada investigador analiza un fragmento concreto del rompecabezas y queda ajeno a aquella producción científica que no se corresponde con su**

**campo de saber y desarrollo.** De esta manera se rechazan los intentos de plantearse problemas fundamentales que impliquen visiones globales. La crisis de la visión simplificadora se manifiesta en campos del conocimiento muy diversos y en los que aparece la necesidad de adoptar un enfoque complejo de la investigación de la realidad.

A los fines de este trabajo se tomarán las palabras de Carlos Galano sobre el sistema educativo en general para adaptarlas al momento de realizar el análisis de las páginas sobre Ciencias Naturales del Diseño Curricular de la Provincia de Buenos Aires para la Educación Primaria del año 2007...” *el universo disciplinar inserto en nuestros sistemas educativos, cuya lógica de construcción del conocimiento, heredada de la modernidad, es la lógica de la separabilidad, mecanicista y unidimensional, de la pedagogía de las certezas, que promueven el desconocimiento del conocimiento, en oposición a una visión compleja e interdisciplinaria, enriquecida por los aportes las revoluciones científicas contemporánea, la “preexistencia” de los saberes subyugados y los aportes de la cultura popular, en un proceso simultáneo de des ocultamiento y deconstrucción de conocimiento mutilantes y emergencia del Saber Ambiental, permeando las matrices epistemológicas que habrán de rescribir las tramas conceptuales disciplinares desde la complejidad ambiental.*<sup>1</sup>

### **3- Líneas de trabajo:**

Se relacionarán los debates culturales del siglo XIX (que dieron origen al sistema educativo de nuestro país) que trasuntan también una concepción de ambiente con las transformaciones o no de las mismas y los Diseños Curriculares para Ciencias Naturales vigente en la Provincia de Buenos Aires para la Educación Primaria y en materiales de secundaria

La pregunta que se intentará responder en el mismo será entonces cómo se enuncia y desarrolla el concepto de ambiente en el Área de Ciencias Naturales y cuánto de estos enunciados aportan a la construcción del concepto de ambiente actual.

Se intentará entonces establecer un marco de análisis que permita comprender la idea de futuro ambiental que recorre los imaginarios de la escuela y los educadores en la actualidad a través de los Diseños y documentos Curriculares teniendo en cuenta los aportes que se visualizan desde el área de Ciencias Naturales y Ciencias Sociales.

La idea de trabajar sobre los Diseños Curriculares y documentos curriculares no se centra simplemente en concebirlo como la directriz del trabajo en el aula ya que muchas investigaciones han dado cuenta que las modificaciones en este nivel de intervención no llegan a lo desarrollado en las aulas del nivel, sino que se centra en considerarlo como una de las expresiones de política educativa y fundamentalmente como el rector de los índices de los manuales desarrollados por las diferentes editoriales y de la concepción de la población en general a través de los medios de comunicación.

Teniendo en cuenta que el marco de referencia privilegiado por las editoriales son los enunciados de los Diseños Curriculares es a partir de esta mediación que el mismo si llega a las aulas y lo hace casi como la única referencia de verdad legitimada de igual manera que en los diferentes medios de comunicación. Estas aclaraciones son las que permiten encontrar la importancia en el análisis del mismo.

---

<sup>1</sup> Prof. Carlos Galano. Segundo encuentro metropolitano de Educación Ambiental. Toluca. México, noviembre de 2003.

Muchos han sido los intentos de incorporar la educación ambiental a la escuela en estos últimos 30 años, pero todos ellos lo han planteado como proyectos especiales y transdisciplinarios que se inscriben por fuera de las áreas de conocimiento desarrolladas en los DC. Así llegamos entonces a concebir en estos últimos años a un espacio de enseñanza propio supuestamente transversal a todas las áreas de conocimiento.

La pregunta entonces es sencilla: ¿qué se debería trabajar en espacios como Geografía, Historia, Economía, Biología, etc. para que el estudiantado y la ciudadanía puedan comprender la relación entre las diferentes enunciados y el ambiente sobre los que impactan.

**A partir del análisis de los resultados de los mismos nos encontramos con que estos proyectos no han permitido plasmar otras concepciones sobre ambiente o por lo menos cercanos a lo desarrollado en la introducción de este trabajo.**

Se tomarán algunas de las palabras de Lucie Sauvé como rectoras y ordenadoras del desarrollo... “El objeto de la educación ambiental no es el medio ambiente como tal, sino nuestra propia relación con él. Por lo tanto, cuando se hace referencia a una educación “sobre”, “en”, “por” y “para” el medio ambiente (según la tipología ya clásica de Lucas), no se está definiendo el objeto central de la educación ambiental, que es la red de relaciones entre las personas, su grupo social y el medio ambiente. El medio ambiente es una realidad tan compleja que escapa a cualquier definición precisa, global y consensual. Creemos que, más que ofrecer una definición del medio ambiente, es de mayor interés explorar sus diversas representaciones” ...<sup>2</sup> para realizar el análisis de las palabras que contienen el DC.

De igual manera y como ideas rectoras para introducirse en lo planteado se tomarán las definiciones de Carlos Galano sobre los postulados base de Educación Ambiental cuando la define como un campo interdisciplinar: ...”*La Educación Ambiental que postulamos se escribirá con la grafía de la interdisciplinariedad como eje organizador de los sistemas educativos, se enriquecerá con una perspectiva compleja de la antropología y con una visión de sujeto invadida por el respeto a la otredad, a la vida, a todas las manifestaciones de vida, sea de la biodiversidad natural o de la diversidad cultural. Se favorecerá el pensamiento y accionar en redes para expandir el espíritu cooperativo y autónomo. En definitiva, será una educación para construir otras representaciones del mundo y de la naturaleza, de la ciencia y la tecnología*” ...<sup>3</sup>

**A modo de ejemplo: través de un rastreo de los contenidos de los diferentes Diseños Curriculares y/o documentos de los diferentes niveles mencionados nos encontramos con que no aparecen conceptos amplios relacionados con estos sistemas cavernarios y su relación con los ambientes en los que están emplazados y otros relacionados con el mismo.**

**Su tratamiento se encuentra en el área de Sociales y puntualmente en Geografía.**

**Este tratamiento es descriptivo y en muy pocos casos y muy específicos, en niveles universitarios, aparecen las ideas de relación con ríos, aguas subterráneas, glaciares, etc. que impiden comprender las relaciones por ejemplo con la contaminación.**

**No aparece tampoco en Geología, no hay alusión a Edafología, Biología etc.**

**Es entonces que a partir de las definiciones actuales sobre ambiente que consideramos de vital importancia deconstruir este tratamiento al interior de los Diseños Curriculares, las capacitaciones docentes porque entendemos que es la escuela y la educación en general la que**

---

<sup>2</sup> Lucie Suave E, Isabel Orellana Tópicos en Educación Ambiental, 50-62 (2002) La formación continua de profesores en educación ambiental: LA PROPUESTA DE EDAMAZ

<sup>3</sup> Prof. Carlos Galano. Segundo encuentro metropolitano de Educación Ambiental. Toluca. México, noviembre de 2003

permite el desarrollo de todas las relaciones que se establecen al pensar el ambiente y que luego impactan en el público en general.

Todo lo enunciado hasta el momento se emparenta con la idea de DIFUSIÓN CIENTÍFICA que consideramos otra pata del sistema de relaciones y que permitirá a la población conocer y defender las nuevas investigaciones científicas.

Pero, toda difusión se imprime en la lógica de análisis de quien la recibe, se arma dentro de su esquema mental. Entonces si fuimos armando nuestros esquemas mentales a través de una lógica positivista no podremos comprender la complejidad.

Hoy nos encontramos en la extremada necesidad de analizar el ambiente como un sistema complejo, armado en relaciones y no dentro de un esquema sencillo de causa y efecto.

Decíamos al inicio que las cavernas están insertas en un gran sistema. No es simplemente analizarlas desde el interior de las mismas, sino que se hace imperioso como un sistema inserto y relacionado con otros sistemas, tal como plantea Morin: dentro de la complejidad.

De esta manera no podemos conocerlas si la manera de abordarlas es simplemente dentro de la lógica descriptiva, lo observacional.

Pero, la observación no es algo simple ya que observamos dentro de nuestro esquema mental.

Todos los materiales analizados muestran que los pequeños párrafos que aluden a las cavernas se encuentran dentro de esta lógica. Son afirmaciones descontextualizadas del ambiente. Aparecen como definiciones desarmadas y sin relaciones entre sí.

La comprensión de la compleja interacción entre todos los componentes del ambiente cavernario (como a todos los ambientes) indefectiblemente relaciona la biología, la geología, la edafología, la hidrología, las ciencias de la atmósfera y la ecología entre otras, así como a las ciencias sociales en sus constantes cambios a lo largo del tiempo.

Estas relaciones no se advierten en la documentación analizada desde los enunciados geográficos que analizan las cavernas.

**Veamos ahora un ejercicio sencillo que todos podemos hacer:**

**Buscamos en Google material para comprender la relación entre cavernas y agua, tal como lo hacen los estudiantes de diferentes niveles educativos o la ciudadanía en general.**

**Teniendo en cuenta que las mismas pueden ser el espacio por donde circula el agua de deshielo.**

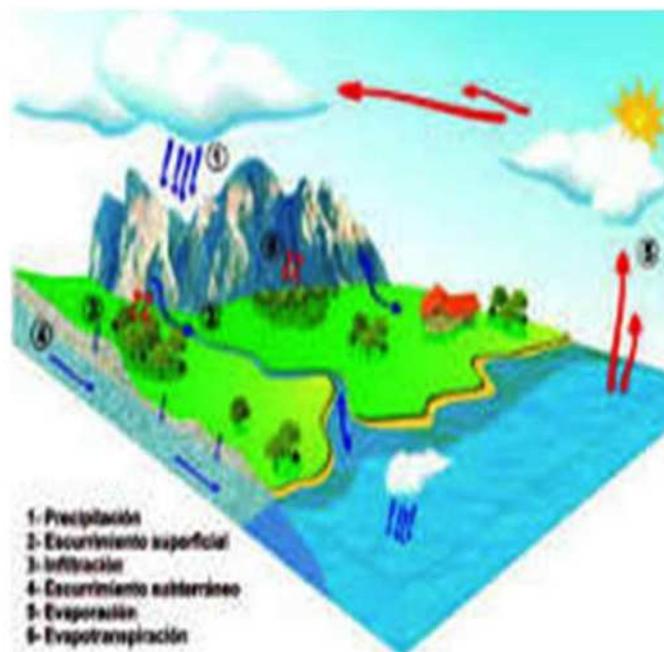
**Nos encontramos con definiciones de agua subterránea como:**

¿Cómo se llenan las aguas subterráneas?

Lo que ocurre para la formación del agua subterránea es que, cuando la lluvia cae al suelo, una parte de esta agua fluye a través de las corrientes por la superficie terrestre hasta llegar a ríos y lagos. Sin embargo, otra parte de esta precipitación humedece el suelo filtrándose a través de este.

El agua subterránea está contenida en un espacio que se llama “acuífero”. Un acuífero es una formación geológica o una parte de ella que consta de un material permeable capaz de almacenar una cierta cantidad de agua.

¿Cómo se alimentan las aguas subterráneas?



- 1- Precipitación
- 2- Escurrimiento superficial.
- 3- Infiltración.
- 4- Evaporación
- 5- Evapotranspiración.

Las aguas que **alimentan** a los acuíferos pueden provenir de diferentes orígenes, como lo son el derretimiento de los glaciares, las lluvias, las infiltraciones de ríos y lagos, inclusive de otros acuíferos. Generalmente las lluvias son la fuente primaria que **alimenta** a los acuíferos.

El agua subterránea **se encuentra bajo tierra**, en las grietas y huecos del suelo, la arena y las rocas. Esta agua se mantiene en acuíferos (rocas y/o sedimentos permeables que contienen agua), se puede extraer por medio de pozos, burbujea naturalmente a través de un manantial o se descarga en lagos o arroyos.

El agua subterránea representa unas veinte veces más que el total de las aguas superficiales de la tierra, de ahí la importancia de este agua como reserva y como recurso de agua dulce. **Del total del agua dulce terrestre, el 21% es agua subterránea.** Se aloja en los acuíferos bajo la superficie de la Tierra.

### **Agua Subterránea**

Es aquella parte del agua existente bajo la superficie terrestre que puede ser colectada mediante perforaciones, túneles o galerías de drenaje o la que fluye naturalmente hacia la superficie a través de manantiales o filtraciones a los cursos fluviales (Figura 3).

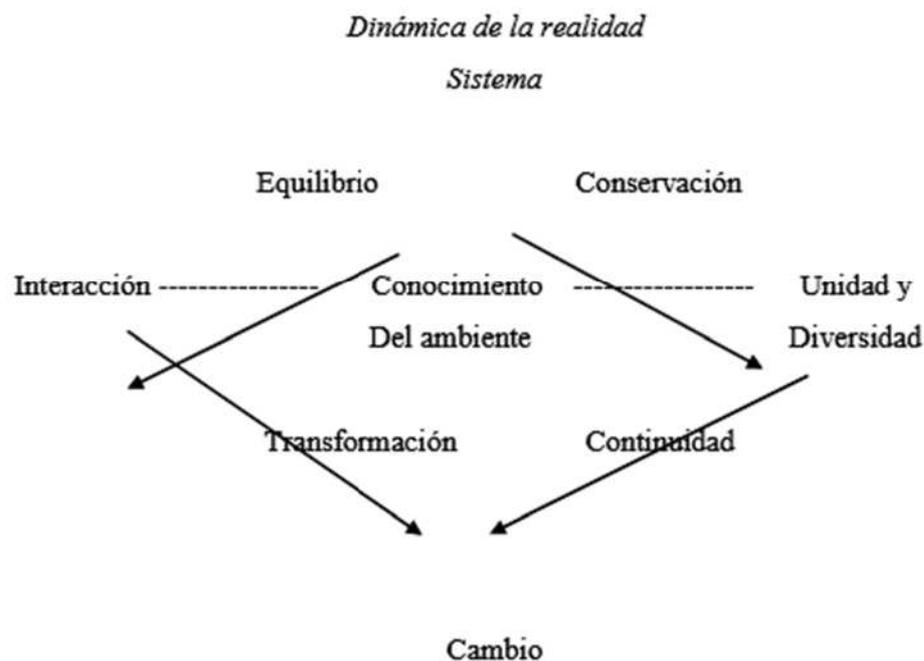
**Tal como puede verse son un conjunto de definiciones y acciones que no permiten comprender al ambiente que aluden y que no guardan relación con el mismo. Tampoco aparecen a las cavernas ni en la ilustración ni en los puntos destacados.**

**Podemos entonces decir que las descripciones y afirmaciones que se encuentran en estos párrafos no nos explican, describen.**

Este tipo de enunciados son también los que encontramos en la difusión, no hay interrelaciones. Es un modelo de análisis propio de la Geografía tradicional, el modelo descriptivo y/o mecanicista. Con esto no se está desconociendo los aportes más actuales de los geógrafos quienes ciertamente no desarrollan estas visiones. Se lo ha puesto como ejemplo de aquello que llega a la población cuando busca información en la red, ya sea Google o Wikipedia.

A modo de cierre podemos del análisis de lo encontrado en Google se puede pensar que para analizar el ambiente se debe organizar el ambiente en torno a conceptos estructurantes, se fundamenta en reconocer la importancia de promover la adquisición de ideas relevantes, en una organización diferente., que remiten a esos conceptos de carácter integrador, los metaconceptos.

Se trata de **conceptos estructurantes** tales como: *sistema, unidad y diversidad, interacción y cambio, espacio socialmente producido, tiempo histórico, Y a otros conceptos como: equilibrio, conservación, transformación y continuidad, diacronía o sincronía* que facilitan la construcción de los anteriores y en este sentido se consideran **conceptos puente**.



**Sistema:** es un conjunto de elementos ordenados, interrelacionados y organizados de acuerdo a una serie de propiedades.

Se lo considera un metaconcepto de carácter integrador, ya que a través de él se logra una visión sistémica de la realidad, a partir de la cual cada parte cobra significado particular en función de su participación en el conjunto de relaciones. Permite la construcción de la idea de "sistema de sistemas".

**Cambio:** "Conjunto de transformaciones de los elementos de un sistema, que se dan a lo largo de un tiempo, dentro de un orden y bajo cierta organización". Este metaconcepto, está vinculado a las nociones de *espacio y tiempo*, y permite alcanzar una visión dinámica de la realidad. Se genera a partir del juego de las interacciones. El sistema tendrá continuidad en el tiempo, manteniendo su unidad, a pesar de la constante transformación de sus elementos y de sus relaciones. En este sentido es posible considerar el sistema en equilibrio dinámico.

**Unidad:** "Los elementos son agrupables en base a propiedades comunes".

A partir de la diversidad de componentes y relaciones dentro de un sistema, es posible establecer regularidades y reconocer propiedades que le dan unidad y lo caracterizan.

**Diversidad:** “La realidad está formada por una gran variedad de elementos”.

El trabajar conjuntamente con estos metaconceptos, da la posibilidad de describir la realidad a través de la caracterización, la descripción y la clasificación de los diversos elementos que la componen de una manera diferente, cambiante.

**Interacción:** “Influencia mutua entre los elementos que conforman un sistema”.

**La existencia de interacciones, dadas por múltiples relaciones, provoca la aparición de nuevas propiedades en el sistema. El estudio de las interacciones es la mejor vía de acceso para comprender la naturaleza de cualquier sistema complejo.**

Tener en cuenta las concepciones de los estudiantes o de los ciudadanos y tomarlas como punto de partida permite anticipar algunas de estas ideas por su carácter universal, y otras es necesario indagarlas porque son adquiridas en el marco de la escuela, la vida cotidiana y los medios de comunicación. El conocimiento de estas ideas no es algo reservado para los especialistas, sino que se convierte en una necesidad para “mover” estos preconceptos para todos aquellos que estamos interesados en forjar una concepción compleja del mismo.

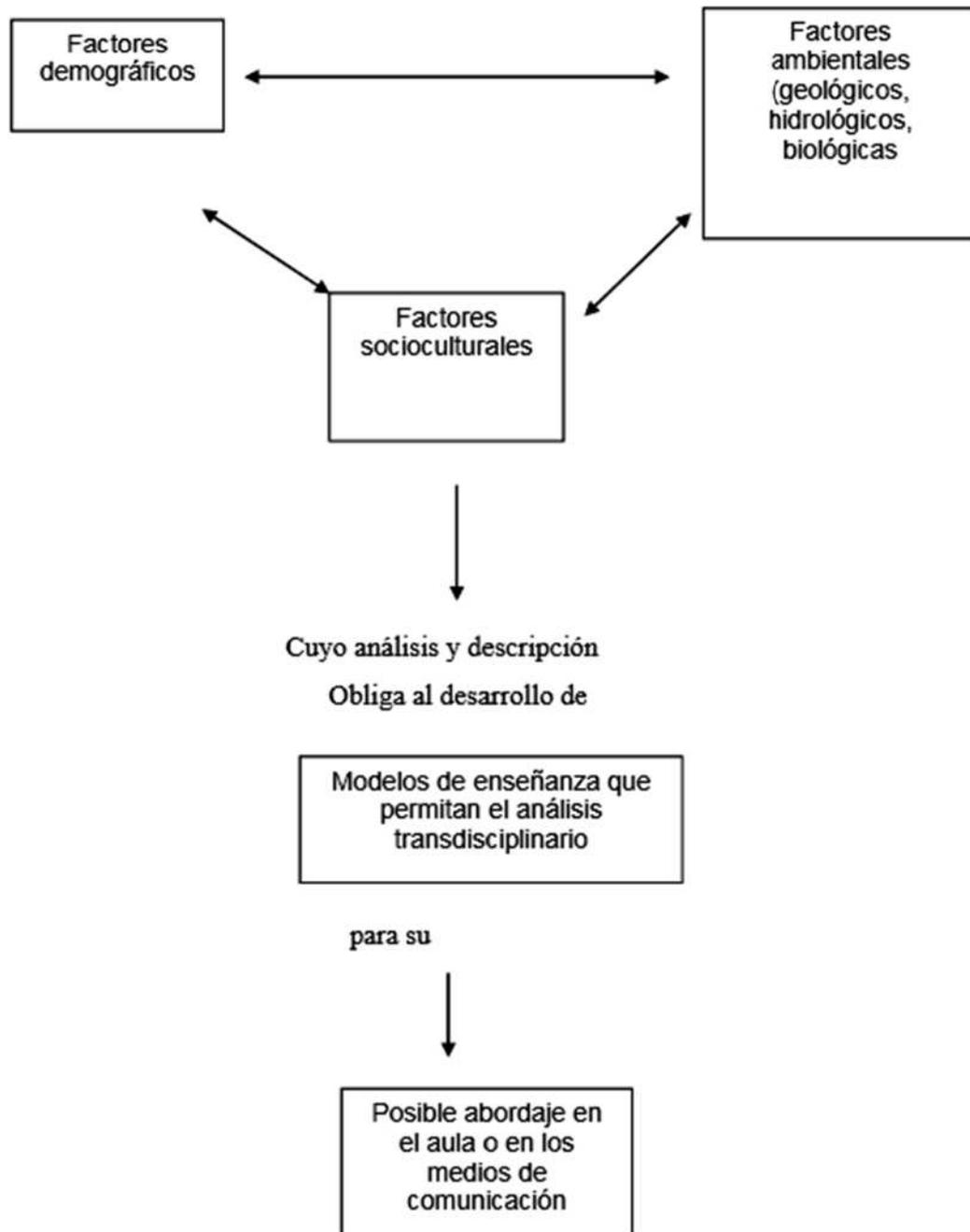
Las personas construyen ideas sobre los hechos y fenómenos sociales y naturales mediante sus experiencias sobre todo lo que los rodea, lo que escuchan, discuten con otros, lo que conocen por los medios de comunicación o han leído en diferentes textos.

La característica más importante de estas concepciones es su estabilidad en el tiempo y su relativa coherencia interna, se conoce rompiendo estructuras de pensamiento o a lo dicho por Bachelard en contra de los “obstáculos” a los que él llamó “obstáculos epistemológicos”, y se realiza en el momento en que la explicación que tenemos no nos satisface.

El complejo escenario que llamamos ambiente, en el que el hombre ya sea individualmente o como grupo social de cualquier dimensión y complejidad, donde desarrolla sus actividades es un escenario concreto formado, un sistema altamente interrelacionado por muchos elementos, no sólo luz solar, aire, agua, etc. El hombre, es sólo un actor recién llegado al escenario ambiental del que se quiere apropiar. Las formas de apropiación que hasta ahora ha ensayado determinan todas y cada una de las dificultades con las que nos encontramos y más aún aquellas que podemos prever en diferentes futuros. Lo que podemos decir es que quizás el hombre tiene una capacidad para modificar algunos de los elementos que conforman el ambiente, pero no está contemplando las modificaciones que cada una de ellas confiere al sistema total. Esta capacidad no se podrá modificar sólo desde los emprendimientos de proyectos interdisciplinarios de algunas instituciones escolares, todas las áreas del conocimiento deberán tender hacia una concepción más amplia del saber de manera tal que no sea el individuo el encargado de realizar las interrelaciones posibles, sino que seremos los adultos y los científicos los encargados de comenzar a plantearlas desde cada una de las parcialidades con las que trabajamos diariamente.

Es por ello que los análisis de las frases enunciadas en diferentes medios (los Diseños Curriculares, los libros de texto, los artículos de los medios de comunicación y otros) su genealogía y su relación con las ideas que las subyacen son el principio de cambio sustancial para lograr esta empresa de otros modos de pensamiento que tiendan al desarrollo superador del análisis lineal

El ambiente depende de la interacción entre los



Nuevamente y a modo de cierre se debe volver a las palabras de Carlos Galano sobre el sistema educativo ...” *el universo disciplinar inserto en nuestros sistemas educativos, cuya lógica de construcción del conocimiento, heredada de la modernidad, es la lógica de la separabilidad, mecanicista y unidimensional, de la pedagogía de las certezas, que promueven el desconocimiento del conocimiento, en oposición a una visión compleja e interdisciplinaria, enriquecida por los aportes las revoluciones científicas contemporánea, la “preexistencia” de los saberes subyugados y los aportes de la cultura popular, en un proceso simultaneo de des ocultamiento y deconstrucción de conocimiento mutilantes y emergencia del Saber Ambiental, permeando las matrices epistemológicas que habrán de rescribir las tramas conceptuales disciplinares desde la complejidad ambiental.*

## **Bibliografía:**

- ANGEL MAYA, A. Ética, vida y sustentabilidad. PNUMA. México. 2003.
- ASTOLFI, JOSÉ CARLOS. Historia de la Escuela Normal de Profesores Mariano Acosta, Buenos Aires, 1974.
- Diseño curricular para Primero y Segundo Ciclo de Primaria para la Provincia de Buenos Aires, 2007
- Materiales de ampliación curricular editados en los años 2007 y 2008. Dirección Provincial de la Provincia de Buenos Aires.
- CAMPANARIO, J.M. y MOYA, A. (1999). ¿Cómo enseñar ciencias? Principales tendencias y propuestas. Enseñanza de las ciencias, 17(2), pp. 179-192.
- COLL, C. (1993). Constructivismo e intervención educativa: ¿cómo enseñar lo que se ha de construir?, en Beltrán, J.A., Bermejo, V., Prieto, M.D. y Vence, D. (eds.). Intervención psicopedagógica. Madrid: Pirámide.
- CURTIS, H. (2007). “Biología”. Capítulo 17, 18, 19, 20 Editorial Médica Panamericana.
- GANDARA GÓMEZ, (2002) “Del modelo científico de Adaptación Biológica” al modelo de adaptación biológica en los libros de textos de enseñanza secundaria obligatoria” Revista Enseñanza de la Ciencias 2002, 20 (2), 303-304. Barcelona España
- GARCIA, Eduardo (1998) “Hacia una teoría alternativa sobre los contenidos escolares” Ed Díada Sevilla España
- GOULD Y LEWONTIN (1979) “La adaptación biológica” (desarrolla la llamada “crítica al programa adaptacioncita)
- GOULD “El darwinismo y la expansión de la Teoría Sintética de la Evolución”
- GIERE, R.N. (1999). Un nuevo marco para enseñar el razonamiento científico. Enseñanza de las Ciencias, núm. extra, pp. 63
- GIORDAN ANDREE, La educación ambiental: guía práctica. Colección Investigación y enseñanza, Serie Fundamentos n ° 5 Ed. Díada, 1995, Barcelona.
- JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P. (1998). Diseño curricular: indagación y razonamiento con el lenguaje de las ciencias. Enseñanza de las ciencias, 16(2), pp. 203-216
- JIMÉNEZ ALEIXANDER (1991) Cambio las ideas sobre el cambio biológico Revista Enseñanza de la Ciencias 1991 ) (3) 248-256 Barcelona España.
- HARVEY, D. 2001. La condición de la Posmodernidad. Amorrortu. Arg.
- LEFF, E. 2000. Pensar la complejidad ambiental. Siglo XXI. México.
- LEWONTIN, R., (2000). “Genes, organismos y ambiente”. Editorial Gedisa.
- MASSARINI A SCHNEK A. (1998) “Historia de la vida en la Tierra” Programa Pro Ciencia Conicet Minis de Cultura y Educación de la Nación. Bs As
- MAYR (1983) - Especiación y macro evolución
- MORIN E. 1986. El método. El conocimiento del conocimiento. Cátedra. Madrid.
- MARÍN, N. (1999<sup>a</sup>). Delimitando el campo de aplicación del cambio conceptual. Enseñanza de las ciencias, 17(1), pp. 80-92.
- MARÍN, N. (1999<sup>b</sup>). Del cambio conceptual a la adquisición de conocimientos. Enseñanza de las Ciencias, 17(1), pp. 109-114.
- MARGALEF RAMÓN, Planeta azul, planeta verde” Biblioteca Científic American, 1992, Barcelona.
- MARTÍ, E. (1999). Metacognición y estrategias de aprendizaje, en Pozo, J.I. y Monereo, C. (eds.). El aprendizaje estratégico: enseñar a aprender desde el currículo. Madrid: Santillana.

MATTEWS, Michael (1994): “Historia, Filosofía y Enseñanza de las Ciencias: la aproximación actual”, en Enseñanza de las Ciencias, 12 (2), pp. 255-277.

OLIVA, J.M. (1999<sup>a</sup>). Algunas reflexiones sobre las concepciones alternativas y el cambio conceptual. Enseñanza de las Ciencias, 17(1), pp. 93-107.

PIAGET. J. 1990. Biología y conocimiento. Ensayo sobre las relaciones entre las regulaciones orgánicas y los procesos

PORLÁN, R., RIVERO, A. y MARTÍN DEL POZO, R. (1997). Conocimiento profesional y epistemología de los profesores I: Teoría, métodos e instrumentos. Enseñanza de las Ciencias, 15(2), pp. 155-171.

POZO, J.I. (1993). Psicología y didáctica de las ciencias de la naturaleza: ¿concepciones alternativas? Infancia y Aprendizaje, 62-63, pp. 187-204.

POZO, J.I. (1999b). Sobre las relaciones entre el conocimiento cotidiano de los alumnos y el conocimiento científico: del cambio conceptual a la integración jerárquica. Enseñanza de las Ciencias, núm. extra, pp. 15-29.

POZO, J.I. y GÓMEZ CRESPO, M.A. (1998). Aprender y enseñar ciencia. Del conocimiento cotidiano al conocimiento científico. Madrid: Morata.

PUIGGRÓS ADRIANA Sujetos, disciplina y curriculum en los orígenes del sistema educativo argentino, ed. Galerna, 1990.

RODRIGO, M.J. y CORREA, N. (1999). Teorías implícitas, modelos mentales y cambio educativo, en Pozo, J.I. y Monereo, C. (eds.). El aprendizaje estratégico: enseñar a aprender desde el currículo. Madrid: Santillana.

SANMARTÍ, N., JORBA, J. e IBÁÑEZ, V. (1999). Aprender a regular y a autorregularse, en Pozo, J.I. y Monereo, C. (eds.). El aprendizaje estratégico: enseñar a aprender desde el currículo. Madrid: Santillana.

Trabajo presentado en Julio de 2024 en la Mesa 26 del  
I Congreso de la Tierra, Facultad de Ciencias Sociales—U  
<https://lunacyc.org/congresos/> - <https://lunacyc.org/wp-content/uploads/2024/07/Programa-I-Congreso-de-la-Tierra.pdf>



# Función y disfunción ecológica humana. Cuál es la función ecológica humana?

Sebastián Lozano

Federación Argentina de Espeleología

## Resumen

*Este trabajo aborda desde una visión biocentrista y filantrópica la Hipótesis de investigación sobre la función ecológica humana desde acciones existentes hasta las ideales destacándose entre tantas funciones la de dispersión, el autoconocimiento, el bioconocimiento y la asistencia biogeoquímica, nuestra función ecológica siempre habría estado vinculada "In crescendo" al contexto temporal geográfico poblacional cultural y tecnológico de afectación humana sobre la biosfera planetaria. Se aportan comentarios para un consenso sobre las acciones consensuadas y necesarias en lo individual grupal e institucional para recuperar el estatus de "ecológico" que alguna vez hubo de un modo general en nuestra especie, diferente del estatus actual como especie invasora contaminante del planeta y extinguidora de otras especies. Se plantean nuevos términos como el de Biouniverso y la Biosostenibilidad. La sobrepoblación humana como fenómeno lesivo para la biodiversidad y autole-sivo para nuestra propia especie al agravar el desborde de los límites planetarios establecidos.*

## Summary

*This work addresses from a biocentric and philanthropic vision the research hypothesis on the human ecological function: from existing actions to ideal ones, highlighting among so many functions the dispersion, self-knowledge, bioknowledge and biogeochemical assistance, our ecological function would always have been linked "In crescendo" to the temporal, geographical, population, cultural and technological context of human impact on the planetary biosphere. Comments are provided for a consensus on the consensual and necessary actions at the individual, group and institutional levels to recover the "ecological" status that once existed in a general way in our species, different from the current status as an invasive species that pollutes the planet and extinguishes other species. New terms such as Biouniverse and Biosustainability are proposed. Human overpopulation as a phenomenon harmful to biodiversity and self-harming to our own species by aggravating the overflow of established planetary boundaries.*

Algunas de las funciones ecológicas humanas, desde lo real hasta lo ideal:

- Acción cognoscitiva sobre nuestra propia especie, sobre el biouniverso terrestre, extraterrestre y sobre el soporte físico-químico de los mismos.
- Dispersión biológica interna y extraplanetaria.
- Creación de entornos favorables para la vida mas allá de la biosfera planetaria.
- Trabajo activo de restauración y asistencia a la regulación de la seguridad biogeoquímica terrestre.
- Protección ante amenazas extra planetarias como meteoritos o fenómenos cósmicos
- Trabajo activo de abstinencia en cuanto a continuar invadiendo el planeta de modo biogeoquímico, promoviendo en su lugar la retirada humana de la mayoría de los espacios físicos y de muchas prácticas culturales arraigadas y así permitir la regeneración autónoma del biouniverso terrestre y del trabajo de aporte de este sobre el ambiente y la humanidad.
- Autorregulación poblacional humana.

A diferencia, pero de manera complementaria, con los estudios sobre la Ecología humana (1), en donde La unidad de estudio es el ecosistema humano, en este caso se aborda la funcionalidad y disfuncionalidad ecológica de dicho ecosistema como parte de un conjunto de ecosistemas.

Este todo de ecosistemas mucho mayor cuyos seres vivos integrantes han sido nombrados a mi entender con el término diminutivo de “Biodiversidad” pero que en realidad dada la magnitud hasta hoy inconmensurable de este Big Bang biológico con el que convivimos llamado “Vida” posiblemente sería mas apropiado nombrarlo como un “Biouniverso terrestre” cuyo conjunto de funciones ecológicas confluyen a través de ciclos e interacciones en una red que lleva al sostenimiento de si mismo a lo largo del tiempo, cabe citar a modo de ejemplo la aparición del oxígeno, la mayor parte del efecto invernadero sano ( No el efecto actual), o las cadenas tróficas como fenómenos biológicos que permitieron multiplicar y mantener este biouniverso terrestre.

### **Biosostenibilidad:**

A ese trabajo consciente o no de integración y sostenimiento común entre todas las especies y el soporte geoquímico donde todo, lo vivo y lo inerte, se degrada y vuelve a aportar de otro modo al sistema, es a lo que doy en llamar la Biosostenibilidad, proceso en el cual el centro y eje de acciones se basa en el funcionamiento de la Vida en su conjunto sin que el trabajar en base a ello por parte de nosotros, los humanos, implique una desatención a las necesidades prioritarias de nuestra propia especie sino que por el contrario nos ayuda a que la misma sobreviva.

En el caso de la palabra Biosostenibilidad no he encontrado homónimos, por otro lado ya sea con sinónimos o en los hechos se encuentran términos, frases o prácticas culturales que aluden a lo mismo, por ejemplo desde la ecología profunda y biocentrista de Arne Naess, la teoría de Gaia de James Lovelock o en prácticas de actuales o antiguas culturas con o sin escritura, es decir que hablar de Biosostenibilidad podría ayudar a describir y aportar nuevos conceptos a un fenómeno pero también en parte es solo otra manera de nombrar una praxis que ya está establecida.

En la búsqueda bibliográfica sobre el término Biouniverso encuentro sólo homónimos de dicha palabra, por otro lado en cuanto al significado del término este condensa una concepción que no es nueva, bastaría para ello remontarse a los primeros estudios sobre biología para encontrar alusiones a lo asombroso que ha sido para los investigadores el incursionar desde el universo más pequeño de formas de vida, como son las células, bacterias, Etc. hasta llegar a los mamíferos y como los científicos han destacado sobre la multiplicidad de nuevas formas de vida que se presumen pero aún no se conocen en nuestro planeta.

Resumen a modo de ejemplo sobre la función ecológica de algunas especies según algunos datos bibliográficos:

Bacterias: ...Son responsables de la descomposición de materia orgánica, reciclando nutrientes que otros seres vivos necesitan. Además, muchas bacterias degradan contaminantes tóxicos, contribuyendo a la limpieza ambiental...(2) .

Ácaros: Los ácaros del polvo brindan una función importante al alimentarse de células de piel muerta y otras partículas de materia orgánica que producimos cada segundo, por lo que son considerados limpiadores de los desechos celulares del ser humano (3).

Ratas: Las ratas y ratones silvestres que construyen madrigueras en la tierra o en la base de los árboles aportan un beneficio adicional a los ecosistemas, pues favorecen que el aire que necesitan las plantas logre entrar a los pequeños espacios dentro de la tierra...(4).

..Los roedores nativos de Estados Unidos juegan un papel importante en la salud de las praderas y los bosques, y son una fuente importante de alimento para muchos depredadores y carroñeros, tales como los halcones, zorros, linceos rojos y hasta los lobos (5).

Leones: Los leones son los principales depredadores de la sabana africana. Esto significa que juegan un papel fundamental en el mantenimiento de ecosistemas saludables ya que conservan un número equilibrado de herbívoros, como cebras y ñus (6).

Simios: Los primates juegan un papel muy importante en la dinámica de los ecosistemas donde habitan ya que son dispersores de semillas y ayudan a mover una gran cantidad de semillas de una alta diversidad de plantas lejos de sus árboles parentales (7)

## **Primates dispersadores de semillas y su función en la restauración de los bosques**

Un reciente artículo revisa las **investigaciones** sobre el papel de los **primates** en la **dispersación de semillas** y sobre cómo un mayor conocimiento de esta **función ecológica** podría promover la **restauración de los bosques** y la **conservación** de las propias especies de primates (8).

### **-Función humana de dispersión:**

En este caso haré hincapié en una de nuestras funciones comunes con nuestros primos simios, como primates que somos, la función de la dispersión que en el caso humano por su cantidad de población y tecnologías actuales multiplica su efecto en calidad (Saludable o tóxica) y en cantidad.

No hay que ahondar en muchas descripciones sino simplemente apelando a los datos sobre la prehistoria e historia de la humanidad y comprobar como fue que pudimos dispersar en todo el planeta, de modo accidental o intencional diferentes especies de flora y fauna las que a su vez crearon más dispersión e invasión y competencia con los ecosistemas locales de destino hasta en las zonas más remotas del planeta tanto desde las migraciones a pie como al evolucionar las formas de transporte hasta nuestros días acortando distancia y tiempo y aumentando la posibilidad del traslado de cargas.

Casos de dispersión antropogénica podemos ver en todas partes y en variadas formas de vida como en el caso de especies arbóreas como los álamos eucaliptos cipreses o todo tipo de frutales, los cereales como el trigo la avena, leguminosas como la soja, Hortalizas Flores y Hierbas y por otro lado las especies animales domésticas y salvajes.

A tal punto de fácil es hoy en día cumplir con nuestra función de dispersión que existen a modo de bioseguridad las barreras nacionales sanitarias para evitar la transmisión de virus y enfermedades traídas por humanos o animales y que afecten la salud humana en particular y barreras fitosanitarias para evitar la dispersión como forma externa de invasión de lo considerado como plaga animal o vegetal para la agricultura y ganadería local.

Al escribir este aporte sobre la función ecológica humana me encuentro con interrogantes difíciles de soslayar como es lo complejo de comprender sobre “Que es ser ecológicos” y como ello favorece al sostenimiento de nuestra existencia como especie y a la Vida en general, pero antes de ello es necesario recabar una idea sobre “Que es la Vida” y por otro lado como vincularnos a esta de la mejor manera, es decir, siendo ecológicos para poder integrarnos en la Vida planetaria sin dañar a las demás especies de nuestra familia, la familia de los seres vivos, lo que al mismo tiempo tampoco debería haber sido autolesivo para nuestra propia especie en cada momento de la evolución humana y en particular en el actual contexto temporal y geográfico del desarrollo humano con las consecuencias que vivimos en el presente y peor aún en el futuro inmediato y lejano, dada la realidad actual en la que nuestro “Equipo de compañeros/as” ,La humanidad, está produciendo sobre el planeta unas consecuencias mucho más anti ecológicas que ecológicas”.

En este estudio me encuentro también con otra complejidad conceptual referida al concepto de Función, y como muestra de ello cito como referencia el minucioso texto de Saborido, Cristian. 2017. "Función biológica" (9).

Para evitar confusión y dar una explicación mínima sobre a que me refiero aquí cuando menciono “Función” diré que me abocaré a dos sentidos elementales de este complejo término.

Por un lado la función ecológica humana divaga entre los dos polos del término función.

Un polo es el efecto teleológico, es decir, por la pertenencia a un efecto:

(Nota, al estar tan bien descrito el texto de referencia aquí he tomado un extracto textual de las/os autores recién citados y le he cambiado la palabra biológico por ecológico\* también he agregado nuevas frases entre comillas)

...Un efecto ecológico\* es una función si es una contribución a un fin ecológico\* como por ejemplo, la supervivencia, la reproducción o el automantenimiento del “Nicho ecológico\*. Así, el poder explicativo de las funciones reside en su carácter teleológico: Las atribuciones funcionales hacen referencia, en último término a una “finalidad” propia para los procesos y estructuras ecológicas\*.

## **El aspecto normativo:**

“Tu función es ésta... , deberás hacer esto... , y esto otro no deberás hacerlo... .

Este otro aspecto del concepto de función estaría a su vez subdividido en dos posibles sistemas de mandatos, en este caso por un lado deberíamos encontrar cuál es el mensaje o mandato que se haya colocado de manera natural según las cualidades de nuestra especie para así cumplir una función “Pro Vida” como parte de un todo.

A su vez este aspecto normativo, mas allá de que exista una posible transmisión y programación genética natural, como en los demás seres vivos, también se encuentra con otra guía de referencia que sería lo que nuestro peculiar discernimiento intuitivo y racional humano que a su vez provisto por dicha naturaleza a través de la evolución, discernimiento que decide acertada o erróneamente sobre lo que sería nuestra función ecológica.

En ese sentido nuestra condición intelectual de humanos parece una apuesta de alto riesgo por parte



de la naturaleza, pero también por algo se habrán dado o permitido las condiciones para tener otro biomecanismo, los humanos, para la preservación y expansión de la vida dentro y fuera de nuestro pequeño planeta.

Una referencia que siempre recuerdo es el mecanismo de dispersión de semillas que efectúa la flor de Diente de León como un mecanismo de inteligente bioingeniería natural que aprovecha el vuelo y la energía eólica para dispersarse lo más lejos posible de su planta madre, lo que me lleva a imaginar a la humanidad dispersando “soplando” y expandiendo la Vida más allá de nuestro planeta.

Antes de intentar comprender que es ser ecológicos deberíamos comprender la relación que este proceso tiene, desde cada especie, con la preservación de la Vida en general lo que es inherente a la preservación de nuestra propia especie en particular, para ello antes necesitamos comprender sobre que es el fenómeno de la Vida en su totalidad más allá de la percepción humana sobre la propia vida individual y/o grupal de nuestra especie.

Lo que parece es que aún no terminamos de comprender ninguno de los dos sentidos del término “Vida”.

-Función de acción cognoscitiva:

Conócete a ti mismo decía una de las inscripciones en el templo de Apolo en Delfos... , aquí le agregamos también el “Conoce la Vida en todas sus formas”... .

## Pero...Que es la Vida?

Para comenzar trataremos de acudir a la poesía y la ciencia ficción para comprender desde el arte algunas consideraciones sobre la Vida dentro de la propia experiencia individual y existencial humana.

### “Como lágrimas en la lluvia”:

(De la película de ciencia ficción “Blade Runner”, 1982, )

Aclaración de la escena:

Aproximadamente en futuro no muy lejano, de casi 40 años posteriores a la película, que coincide aproximadamente con esta misma década del 2020, existían humanoides/replicantes de producción artificial creados por humanos, humanoides a quienes por cuestiones de la propia seguridad humana se los había programado para una corta duración de vida pero aún así y por querer vivir más tiempo algunos de estos humanoides se habían revelado contra sus padres creadores, los humanos, para solucionar esto los humanos habían entrenado a cazadores de humanoides llamados los “Blade runners”

En una de las últimas escenas uno de estos humanoides rebeldes de nombre Roy, el más inteligente y el último que quedaba con vida después de que sus compañeros habían sido cazados y eliminados, éste trata de defenderse de su cazador humano quien cumpliendo con su trabajo intentaba matarlo, pero luego de luchar a muerte entre ellos dos, el humanoide al percibir la paradoja de que se le agotaba su tiempo programado de vida, no pudiendo escapar de ello y a pesar de haber podido matar a su cazador varias veces es que este humanoide comprendiendo su destino ineludible termina valorando la vida mas allá de si mismo y así decide, usando una de sus manos, ya que la otra mano la tenía ocupada con una blanca paloma viva cuidadosamente sostenida, con la mano libre salva la vida a su cazador sujetándolo y dejándolo en el techo del edificio ya que estaba por caer al vacío, entonces el humanoide antes de morir se sienta frente a su cazador quien lo miraba desconcertado y con sus últimas energías el humanoide le dice:

....”-Yo he visto cosas que vosotros no creeríais... ...Todos esos momentos se perderán en el tiempo como lágrimas en la lluvia, es hora de morir”

(A continuación una voz en off relata los pensamientos del cazador, quien fue salvado de morir por quien era su presa, y vio como el humanoide que lo salvó y que ya sin energía o tiempo para vivir desvaneciéndose moría sentado y al distenderse se le soltaba de su mano la paloma que había capturado y entonces esta se fue volando en libertad.)

A continuación la voz en off del cazador:

“-No se por qué me salvo la vida , quizás en esos últimos momentos amó la vida mas que nunca, no solo su vida, la vida de todos, mi vida, todo lo que el quería eran las mismas respuestas que todos buscamos, de donde vengo , a donde voy, cuanto tiempo me queda.

Todo lo que yo podía hacer era sentarme allí y verle morir”.

-Función de acción biocognoscitiva:

Entonces conocer que es la Vida y cuál es la función de nuestra especie en ella es una parte a mi entender de lo que se puede asumir como una de nuestras funciones ecológicas aún inconclusas.

Volviendo a este trabajo vale recordarnos, a pesar de lo obvio, que la Vida biológica planetaria se encuentra más allá de la propia experiencia o existencia humana, entonces como podemos actuar, encajar, de modo ecológico sobre algo tan complejo, La Vida, que todavía no sabemos completamente lo que es?:

Sobre el concepto de Vida vertido por parte del científico e inventor James Lovelock (1919-2022), autor de la teoría de Gaia (El planeta tierra como un solo organismo vivo conformado al mismo tiempo por millones de organismos), aquí J. Lovelock es entrevistado durante la serie televisiva “Redes” de la Televisión pública española:

(Transcripción de la traducción al idioma español hecha en el video, (10)

Ante la pregunta del divulgador científico Eduardo Punset sobre “Que es la Vida?”, J. Lovelock le responde:

..”-Soy un científico, pero los científicos pertenecemos a tribus distintas, están los biólogos los físicos los químicos y si les preguntas a cada uno de ellos, a un representante de cada disciplina “Que es la Vida?”, todos te darán una respuesta distinta.

El biólogo te dirá que es algo que se reproduce a si mismo y que los errores reproductivos son corregidos por la selección natural, es lo único que debe saberse sobre la vida; y el químico te dirá

-Pára, (Detente) un minuto, también es algo que metaboliza o toma elementos químicos del entorno los procesa y los devuelve y de alguna forma todo el sistema se mantiene en un estado maravilloso, en un estado constante que logra estar fuera del equilibrio. Y un físico te dirá, -Nada de esto, es un sistema que funciona como un frigorífico, toma energía libre la transforma y se construye a si mismo como una estructura que disipa energía”.

Continúa Lovelock, “Creo que la verdad es que todos nuestros científicos han viajado solo un poco al pasado para entender que es realmente la Vida, es una de las preguntas que tendremos que resolver en el futuro, dar una definición adecuada de la Vida”.

La Sostenibilidad y el origen de los Objetivos de Desarrollo Sostenible “ODS”

Desarrollo: Se deriva de la palabra Desenrollar.

Sostenible el origen del término proviene de los vocablo latino sustinere: sus y tenere. Sostener, mantener, defender o conservar (11).

Vale aclarar que también que según que autor hay diferentes apreciaciones entre las palabras Sostenible y Sustentable, a veces catalogadas de sinónimos y otras veces adjudicándoles significados diferentes.

La sostenibilidad según el concepto de Naciones Unidas basado en el informe de la comisión Burtland del año 1987:

“Sostenibilidad es lo que permite satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la habilidad de las futuras generaciones de satisfacer sus necesidades propias”.

De esta concepción se derivan, contemporáneos al Acuerdo de París realizado dos meses después, a partir del año 2015 los “Objetivos de desarrollo sostenible 2030” o “Agenda 2030”, es así que desde la perspectiva personal que aquí planteo sobre la Biosostenibilidad se puede realizar un análisis sobre en que medida dicho concepto de sostenibilidad y los ODS pueden ser biosostenibles, en que medida son demasiado antropocéntricos a un nivel de auto engaño y autodestrucción o en que medida, según que intereses y discursos se lo apropien, estos objetivos pueden ser una maniobra de distracción o una suerte de “Caballo de Troya” para vendernos algo manipularnos o resignarnos a esperar algo que nunca llegará de manera general.

### **Biodiversidad y Biouniverso?:**

El ciclo regenerativo:

El fenómeno de lo ecológico entre tantos aspectos también tiene que ver con permitir el cierre y reinicio de ciclos que vuelven a generarse indefinidamente y que aportan a todas las partes del conjunto.

Continuar con los intentos de comprender la Vida nos lleva a la tarea que viene realizando la humanidad desde que se supone que se comenzó a formar una consciencia “Humana” propiamente dicha en cuanto a comprender la parte y el todo de los fenómenos físicos, por ejemplo, los artificios sobre piedras y herramientas del Homo habilis y los planteos sobre la Vida misma desde nuestra existencia individual y grupal y sobre el entorno y las demás formas de vida, por ello estamos hablando de un proceso cognoscitivo que rondaría desde los Siete millones de años o más hasta nuestros días.

En cuanto al proceso de la Vida en si desde que se origina en este planeta, 3800 millones de años atrás, sucedió entre un pequeño sistema de seres vivos, una Biodiversidad hasta el actual Biouniverso (Un uno, un todo de Vida que gira y re-gira (Recicla) sobre si mismo, y que a partir de nuestro origen como humanos nos incluyó.

**-Función ecológica de Asistencia a la regulación de la seguridad biogeoquímica terrestre: Los límites planetarios:**

La propuesta conceptual de estos límites plantea el peligro para la supervivencia humana por el simple hecho de traspasar tan sólo uno de estos, en el caso actual habiendo atravesado seis de los nueve límites podemos deducir con facilidad sobre la fragilidad en la que se encuentra la supervivencia de nuestra especie humana.

...”Este concepto fue propuesto en 2009 por un grupo de 28 científicos internacionales liderados por Johan Rockström del Stockholm Resilience Centre (SRC) y Will Steffen, de la Australian National University”... (12)

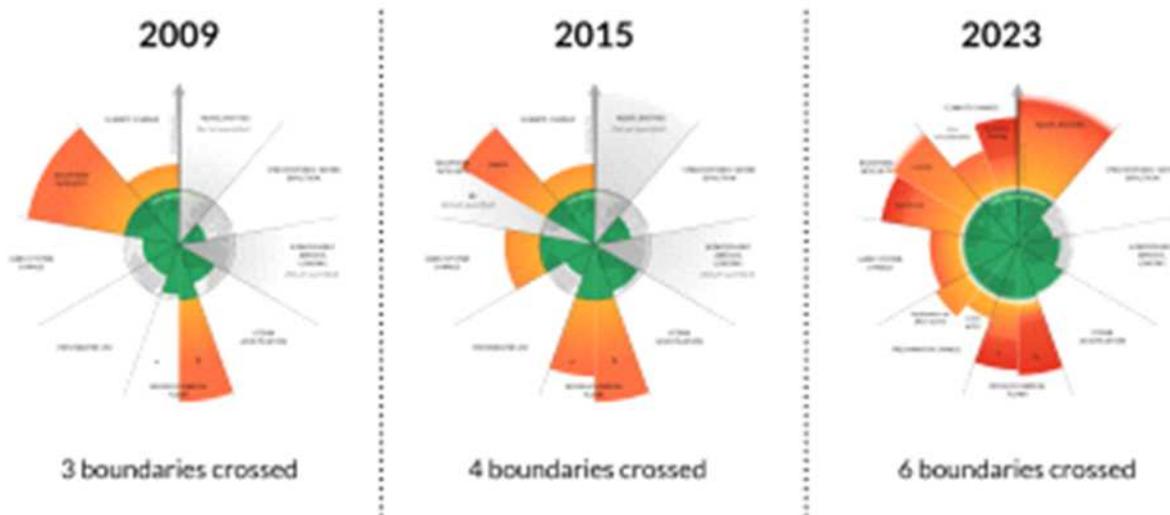
**Límites planetarios**

según Johan Rockstrom, Stockholm Resilience Centre et. al. 2009



**Los nueve límites planetarios son:**

- Crisis climática.**
- Acidificación de los océanos.**
- Agujero de ozono.**
- Ciclo del nitrógeno y fósforo.**
- Uso del agua.**
- Deforestación y otros cambios de uso del suelo.**
- Pérdida de biodiversidad.**
- Contaminación de partículas en atmósfera.**
- Contaminación química.**



**Secuencia años 2009>2015>2023 : Año 2009: 3 Límites superados, año 2015: 4 Límites superados, año 2023: 6 Límites superados.**

## **La paradoja con la realidad actual es de pesadilla, pero real.**

Basándonos en los gráficos y la secuencia cronológica anteriormente expuestos cabría preguntarnos sobre como creemos que evolucionarán esos límites por ejemplo durante los próximos seis años justo al llegar al plazo para el cumplimiento propuesto sobre los ODS En 2030, entonces hacia que estado Bio-geo-químico, hacia donde creemos que vamos?. La realidad planetaria es la antítesis de los ODS y mientras más nos acercamos al año 2030 más se profundiza la contradicción.

Es decir que fácilmente se puede deducir como una de las funciones ecológicas actuales y más urgentes de la humanidad son el trabajar sobre la restauración de estos límites, y así como en el gráfico “empujarlos” hacia el centro, para ello también les apporto la información actualizada de la reciente “Conferencia de las Partes 16 de la Convención de la ONU de Lucha contra la Desertificación” , llevada a cabo entre el pasado 2 y 13 de Diciembre pasado (13).

### **Puntos centrales del Informe:**

Límites planetarios: Afrontar la crisis mundial de la degradación de tierras.

- La degradación del suelo mina la capacidad del planeta para sustentar a la humanidad
- Si la degradación no se revierte, se plantearán graves retos durante generaciones
- El uso insostenible de las tierras afecta a siete de los nueve límites planetarios, sobre todo, a los sistemas terrestres
- La agricultura es responsable del 23% de las emisiones de gases de efecto invernadero, del 80% de la deforestación y del 70% del uso de agua dulce
- La pérdida de bosques y el empobrecimiento de los suelos provocan hambre, migraciones y conflictos
- Manejar las tierras de forma sostenible es indispensable para que la humanidad prospere dentro de los límites planetarios.

-Función de autorregulación por ser una especie peculiar productora de artificios complejos de alto riesgo biológico y especie susceptible de poder incrementar de forma exponencial su propia población:

### **Hablemos del Tabú de la sobrepoblación humana:**

“Nada en demasía” decía otra de las inscripciones del templo... .

Al escribir sobre este tema no estoy excluyendo una variedad de factores que no tienen que ver con lo poblacional en sí sino con prácticas industriales, comerciales corporativas y geopolíticas que contribuyen a afectar los límites planetarios mas allá de que el planeta se pudiera encontrar o no sobrepoblado.

Aquí cabe destacar, como en todos los parámetros, que, además del tipo de actividad humana que se realice, hay un factor agravante que tiene que ver con lo cuantitativo y que empuja desde dentro hacia afuera a dichos límites planetarios, me refiero a la sobrepoblación humana que al mismo tiempo provoca la sobrepoblación de las especies vegetales y a animales de servicio o domesticadas, factor que posiblemente se comenzó a disparar lentamente desde el comienzo de la agricultura y la ganadería, hace nada más que 11700 años atrás durante el comienzo del actual período geológico del Holoceno cuando, según que autor, la humanidad contaba con entre uno y diez millones de personas habitando el planeta y que junto con las técnicas ya mencionadas de agricultura y ganadería la supervivencia humana fue asegurándose, lo que con los avances del transporte, la medicina y la tecnología en general el lento crecimiento poblacional se fue acelerando hasta nuestros días, es decir que la época de colapso poblacional actual es el resultado de el esfuerzo humano por sobrevivir pero paradójicamente ahora nos juega en contra.

### **El accidente demográfico:**

Además de la cantidad de humanos también son las prácticas que realizamos con respecto al tamaño y sistemas del planeta el que, como me dijo alguien, “Ya nos han quedado chicos”, valga como ejemplo la burda comparación con sobrepoblar un autobús, un barco, un hotel un restaurante o una cárcel, en todos estos casos hay un aforo previamente estipulado que de no cumplirse dispara problemas de saturación de servicios, de falta de espacio, de salud, seguridad y conflictos sociales.

Lo que hay que comprender es que si la totalidad de la humanidad viviera bajo los estándares de lo que se llama lo sostenible, aún así no bastaría y aún sería exageradamente bioinsostenible, es decir que aquí el solo hecho cuantitativo es desequilibrante para todo el sistema biogeoquímico.

Habrá que festejar, si llegamos a conseguirlo, el día que nazca el humano número cien mil millones, el que nacerá en alguno de los planetas o encontrados aptos para la vida o planetas preparados artificialmente por humanos por la geoingeniería de la Terraformación.

Pero en este planeta lo humanamente biosostenible está condicionado, nos agrade o no a lo ecológicamente biosostenible general, porque no estamos solos y el planeta no es nuestro, es compartido. Ello implica continuar con los estudios en comprender la excelencia del trabajo de la naturaleza sobre las proporciones.

Si las ratas los leones o los elefantes hubieran desarrollado masivamente la agricultura ganadería medicina y tecnologías Etc, ello causaría que por su egocentrismo de especie posiblemente tendríamos el planeta sobrepoblado de alguna de estas especies y con el costo ecológico ambiental y climático en detrimento de la propia y de las demás especies, pero en su lugar fuimos los humanos quienes conseguimos la sobrepoblación accidental como una suerte de “Efecto colateral” de nuestros logros culturales científicos y tecnológicos.

### **Dentro de que números estaría una población humana biosostenible?:**

Hay que tener en cuenta para ello lo que nos ha enseñado la naturaleza en cuanto al mantenimiento natural de proporciones máximas, mantenidas a fuerza de las contingencias naturales, proporciones que se pueden inferir en particular en el caso de los mamíferos.

Posiblemente para una población humana biosostenible que tenga asegurada como en la actualidad su supervivencia gracias a los medios actuales de que disponemos, sobrados en ventaja con respecto a la demás especies, y a pesar del prejuicio de quién critique sin fundamento esta opinión personal la cual es científicamente discutible, dicho número escandalizaría a cualquier “conspiranoico” si lo comparamos con los 8200 millones de humanos actuales, es lógico que la propuesta genere suspicacias e incomodar y escandalizar a cualquiera.

El número al que me refiero coincide con la población humana de hace aproximadamente cuatro mil años atrás, es decir que rondaría los no más de cien millones de habitantes, es decir que sería de alrededor del 1,3 % del número actual de humanos en el planeta, y por supuesto que choca a la vista ese contraste poblacional.

Como un simple ejercicio de imaginación causaría espanto o gracia pensar si en la actualidad existiera una población mundial de cien millones de habitantes y estuvieran distribuidos equitativamente en el territorio de los 195 países actualmente reconocidos, estaríamos hablando de 512 mil habitantes por cada país, imaginemos lo humanamente despoblado que quedaría el planeta pero lo biológicamente favorable que ello sería para otras especies y el soporte geo-químico de la Vida lo cual redundaría en un beneficio para nuestra especie humana.

Como texto de contraste entre la sobrepoblación y contaminación actual y por otro lado un mundo despoblado y descontaminado, también es recomendable la lectura del libro de Alan Weisman “El mundo sin nosotros” (14) .

## **Conclusión:**

Desde la posible primer marca anti ecológica humana que comenzó a dejar huella en la geología y entorno terrestre como probablemente fueron los accidentales o intencionados primeros incendios forestales antropogénicos hace aproximadamente dos millones de años atrás, hasta nuestras acciones actuales del devenir humano entre lo ecológico y lo anti ecológico, dado el privilegio que tenemos como especie de ser un aspecto del universo autocognoscente, la naturaleza conociéndose a si misma, lo cual seguramente sucede en las demás especies pero de otro modo, bajo esa particularidad corremos el riesgo de creer que todo lo demás fue creado para nosotros y creernos el centro de todo, pero no lo somos porque hagamos lo que hagamos la Vida igual puede prescindir de nosotros y continuará, entonces según como actuemos como grupo, por ejemplo como lo estamos haciendo ahora, nos estamos arriesgando a vivir en la propia piel lo que le hemos causado a otras especies, y pasar pronto de la actual pobreza ambiental a una suerte de indigencia ambiental o peor aún a la extinción, y entonces todo lo vivido lo aprendido lo conocido y transmitido por la humanidad desde el origen de nuestra especie...

...“Todos esos momentos se perderán en el tiempo como lágrimas en la lluvia”... .

## **Referencias:**

- 1: <https://ecologiahumana.es/que-es-la-ecologia-humana/>
- 2: <https://quimicaecologica.com/bacterias-para-el-tratamiento-de-aguas/>
3. <https://www.redalyc.org/journal/920/92043276016/html/#:~:text=Los%20%C3%A1caros%20del%20polvo%20brindan,desechos%20celulares%20del%20ser%20humano>
- 4: Asociación mexicana de mastozoología A.C <https://mastozoologiamexicana.com>
- 5: 27 feb 2024 Acerca de las ratas y los ratones <https://espanol.epa.gov>
- 6: World Wildlife Fund <https://www.worldwildlife.org>
- 7: Chapman, 1989; Link & Di Fiore 2006). (Pontificia universidad Javeriana <https://repository.javeriana.edu.co>
- 8: Asociación primatológica española <https://apespain.org>
- 9: Saborido, Cristian. 2017. "Función biológica" en Diccionario Interdisciplinar Austral, editado por Claudia E. Vanney, Ignacio Silva y Juan F. Franck. URL= [http://dia.austral.edu.ar/Función\\_biológica](http://dia.austral.edu.ar/Función_biológica))
- 10: James Lovelock. [https://youtu.be/os3Nkte-mtc?si=47KyYfLOSERsW\\_cl](https://youtu.be/os3Nkte-mtc?si=47KyYfLOSERsW_cl)
- 11: <https://es.linkedin.com/pulse/sostenibilidad-concepto-origen-y-actualidad-es-terrat-asesoria#:~:text=Qu%C3%A9%20significa%20sostenibilidad> [HYPERLINK "https://es.linkedin.com/pulse/sostenibilidad-concepto-origen-y-actualidad-es-terrat-asesoria#:~:text=Quésignifica sostenibilidad&text=Hemos podido comprobar cómo la,, mantener, defender o conservar"&HYPERLINK "https://es.linkedin.com/pulse/sostenibilidad-concepto-origen-y-actualidad-es-terrat-asesoria#:~:text=Quésignifica sostenibilidad&text=Hemos podido comprobar cómo la,, mantener, defender o conservar" text=Hemos%20podido%20comprobar%20c%C3%B3mo%20la,%20mantener%20defender%20o%20conservar.](https://es.linkedin.com/pulse/sostenibilidad-concepto-origen-y-actualidad-es-terrat-asesoria#:~:text=Quésignifica sostenibilidad&text=Hemos podido comprobar cómo la,, mantener, defender o conservar)

12: Límites planetarios:

<https://www.stockholmresilience.org/research/planetary-boundaries.html>

13: COP 16 de la CNULD, 2-13 dic. 2024 <https://www.un.org/es/climatechange/events/cop16>

El informe completo está disponible para los medios de comunicación en

<https://bit.ly/3OmArry>)

14: <https://petroleumag.com/wp-content/uploads/2021/01/EL-MUNDO-SIN-NOSOTROS-de-ALAN-WEISMAN.pdf>

# Miembros Honorarios de la Federación Argentina de Espeleología - FAdE

## NACIONALES

ACOSTA, Luis E.

ARROYO, Esther

BROJAN, Marta (fallecida)

D'AGOSTINO, Carlos

DI MARTINO, Sebastián

FERRARI, Gladys (fallecida)

GALLARDO, Adolfo Héctor

MELENDES PAREDES, José

PERALTA, Marcela

PORTIOLI, Renzo (padre)

TROMBOTTO, Darío

VENTURINO, Andrés

ETIENNE-GREENWOOD, Tobías  
(Francia)

FORTI, Paolo (Italia)

FRANCIS, Tim (Inglaterra)

GARASIC, Mladen (Croacia)

LOPEZ CASAS, Juan Carlos  
(España)

MOLERIO LEON, Leslie (Cuba)

RABADA VIVES, David (España)

SORIGÓ PUIG, Manuel (España)

SLAGMOLEN, André (Bélgica)  
(fallecido)

TOULKERIDIS, Theofilos  
(Ecuador)

TRAJANO, Eleonora (Brasil)

UBACH TARRES, Montserrat  
(España)

WAARDENBURG, Arjan van (Holanda)

## INTERNACIONALES

BROOK, George (EEUU)

CAREY, Richard (Inglaterra)



FEDERACIÓN  
ARGENTINA  
de ESPELEOLOGÍA

Argentina Subterránea 56

ISSN 1851-894X

diciembre de 2024

[www.fade.org.ar](http://www.fade.org.ar)

Director: Carlos Benedetto

[carlos\\_benedetto@fade.org.ar](mailto:carlos_benedetto@fade.org.ar)