

## GEO-NETWORK OF LATINAMERICAN-GERMAN ALUMNI (GOAL)

### CONTENT

1. Editorial Note
2. Speleothem chemistry. Possible use of speleothems in environmental pollution research
3. El uso de arcillas caoliníticas como extensor del cemento en Cuba, una mirada desde los CTS
4. Salinity gradient energy: concept and extractable potential
5. Dating Colombian emeralds: New in situ U-Pb age in carbonates (calcite)
6. Scientific affidavit and communication: An exercise
7. La rotulación en los parques volcánicos de Costa Rica y áreas vecinas como complemento para una gestión del riesgo: Un ejemplo de geoalfabetización a seguir en otros sitios de interés geológico
8. GOAL's new members
9. International Scientific Events

### 1. Editorial Note

*Christina Ifrim, Martin Meschede*

[christina.Ifrim@jura-museum.de](mailto:christina.Ifrim@jura-museum.de), [meschede@uni-greifswald.de](mailto:meschede@uni-greifswald.de)

Dear Goalistas,

The last half year has been both challenging and successful. A long break was not only caused by the pandemic travel and contact restrictions, and there was a true danger that the network might fall apart. But we managed to bring together the GOAL network again – to get into contact with you all, to establish regular online meetings and a structured flow of information, despite the many challenges. Each of our attempt for online meetings leaves some of you out, for different reasons such as time difference or incompatibility of conference systems in each case. This clearly emphasizes the importance of personal meetings, and we invested time, effort and energy to put together a proposal for the DAAD for a new meeting this year. We were really happy when we could announce you the approval early this year, which allows us to come together again after 5 years. The DAAD approved our application in full without any compromises. The increasing importance of our network and the personal meetings is shown by the number of registered participants. Whereas in the last meetings around 20 participants came together, we are looking forward to more than 40 participants for the first time!

The title we chose together with you for our meeting this year also shows that we all work on up-to-date topics: “Geosciences in the 21<sup>st</sup> century: digitalization, sustainability and strategic metals”. The Greifswald-Freiberg meeting this year is also special in another aspect. Together with you we will celebrate the 20<sup>th</sup> anniversary of GOAL.

We will start our meeting in the wonderful historical Aula of the University of Greifswald from the 18<sup>th</sup> century. This a truly dignified place to start an international conference and celebrate an anniversary. In order to make the exchange of ideas as efficient as possible and to let everyone have their say, we have agreed to only give very short presentations.

## GEO-NETWORK OF LATINAMERICAN-GERMAN ALUMNI (GOAL)

A second part of this conference day will be the presentation and discussion of posters. We will continue with a short workshop on digitalization and usage of drones and will have a couple of hours to come together, renew the connections within our network and discuss about future activities. The geology should not be neglected, because after these two days we will go on geological excursions first on the island of Rügen, then some stops on our way to Freiberg and finally in the area around Freiberg. The last day is again a workshop with special emphasis on mining and resources, organized by our colleagues from Freiberg. we hope that our preparations will continue to go well and that all registered participants will actually have the chance to come to Greifswald in October. We are really looking forward to meeting you in Greifswald!

With our best regards,  
Christina and Martin

## 2. Speleothem chemistry Possible use of speleothems in environmental pollution research

Horn, A.H.<sup>1</sup> and Baggio, H.J.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Full Professor, Geological Department (DeGel), Geological Institute (IGC), Federal University of Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, Av. Antônio Carlos, 6627

<sup>2</sup>Assistant Professor, Geological department, Federal University of Jequitinhonha e Mucuri Valleys, Diamantina, MGT 367 - Km 583 - n° 5000

[hahorn@ufmg.br](mailto:hahorn@ufmg.br), [hbaggio@ufvjm.edu.br](mailto:hbaggio@ufvjm.edu.br)

### Abstract:

Speleothems represent one of the main features of the karste reliefs and occur in almost all caves in limestone and often also in caves and cavities on other substrates such as silicate, evaporitic, ferruginous or magmatic (sl) rocks. In limestone sl, their formation is a product of water-rock reactions  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$  under low pH and high  $\text{CO}_2$  content, dissolution process and precipitation directed by a set of physical, chemical and biological properties. These speleothems are widely used to describe climate analyzes and environmental evolution. This work attempts to inform and discuss the possibilities of speleothem use for environmental pollution purposes.

The text tries to show which natural and anthropogenic influenced factors are represented in the chemical and mineralogical growth of both stalagmites and stalactites.

### Key words:

Cavern; karstic environment; speleothems; environmental conditioning factors; chemical evolution; mineralogical evolution; potentially dangerous elements; isotopes; organic compounds.

### Introduction:

Speleothems normally are formed by complex dissolution and precipitation processes, influenced by the environmental conditions during the formation of the primary solution and the precipitation od the solids from it, strongly connected to the evolution of caves (Field, 2002; Ford & Williams, 2007; Rodet, 2016; Horn, 2020), their internal and the external climate conditions, changes in water and atmosphere conditions, physical cave evolution and actually anthropogenic influenced physical-chemical factors.

A good and extent classic exposition of karste evolution, evolutive processes and possible geneses is given by Ford & Williams (2007).

Here will be shown how these changes in speleothem composition can be used for different information about the situation and changes in the environment sl.

The influence of bacteria in the speleothem formation is discussed by Pentecost (1994). They are able to change isotope relation and also alter element concentrations.

Changes in speleothem mineral composition caused by calcite-aragonite are discussed by MCDONALDS, 1956 and Salje & Vishvanatan (1976)..

From literature a lot of examples of environmental use of speleothems are known.

**Table 1:** Examples for environmental use of speleothems in literature. The table shows the different possibilities for the use of speleothems in cave environment investigations. There are only very few articles using speleotherms in investigation of environmental pollution.

<b>Changes in biological activity:</b> Wong & Breeker (2015); Fairchild et al. (2001a, b); Perrin et al. (2014); Wynn et al. (2012); Baldini et al. (2005); Bascar et al. (2012); Green et al. (2015); Pacton et al. (2013);	<b>Climate investigations sl:</b> Kluge & Affect (2012); Daëron et al. (2011); Li et al. (2005); Lachniet et al. (2004); Asrat et al. (2007); Wong & Breeker (2015); Fairchild et al. 2001a, b; Baldini et al. (2005); Moreno et al. (2014); Gokturk et al. (2014); Lachniet (2009); Zhou et al. (2009); Rossi et al. (2018); Schimpf et al. (2010); Bradley et al. (2010);
<b>Changes in the cave environment:</b> Wong & Breeker (2015); Frisia et al. (2000); Bascar et al. (2012); Lachniet (2009); Nehme et al. (2015); Pacton et al. (2013);	
<b>Changes in drip water composition:</b> Wong & Breeker (2015); Baldini et al. (2005); Frisia et al. (2000); Breitenbach et al. (2015); Moreno et al. (2014); Nehme et al. (2015); Fairchild et al. (2000a, b); Finch et al. (2003); Schimpf et al. (2010); Green et al. (2015);	
<b>Composition of the atmosphere:</b> Wong & Breeker (2015); Breitenbach et al. (2015); Moreno et al. (2014); Zhou et al. (2009);	<b>Equilibrium changes:</b> Kluge & Affect (2012); Perrin et al. (2014); Frisia et al. (2000); Nehme et al. (2015); Fairchild et al. (2000); Finch et al. (2003); Bajo et al. (2017); Mickler et al. (2006); Pacton et al. (2013);
<b>Climate Evolution of the cave:</b> Wong & Breeker (2015); Bascar et al. (2012); Breitenbach et al. (2015);	<b>Temperature Evolution:</b> Wong & Breeker (2015); Perrin et al. (2014); Breitenbach et al. (2015);
	<b>Pollution history:</b> Nagra et al. (2016); Wynn et al. (2012); Borsato et al. (2007);

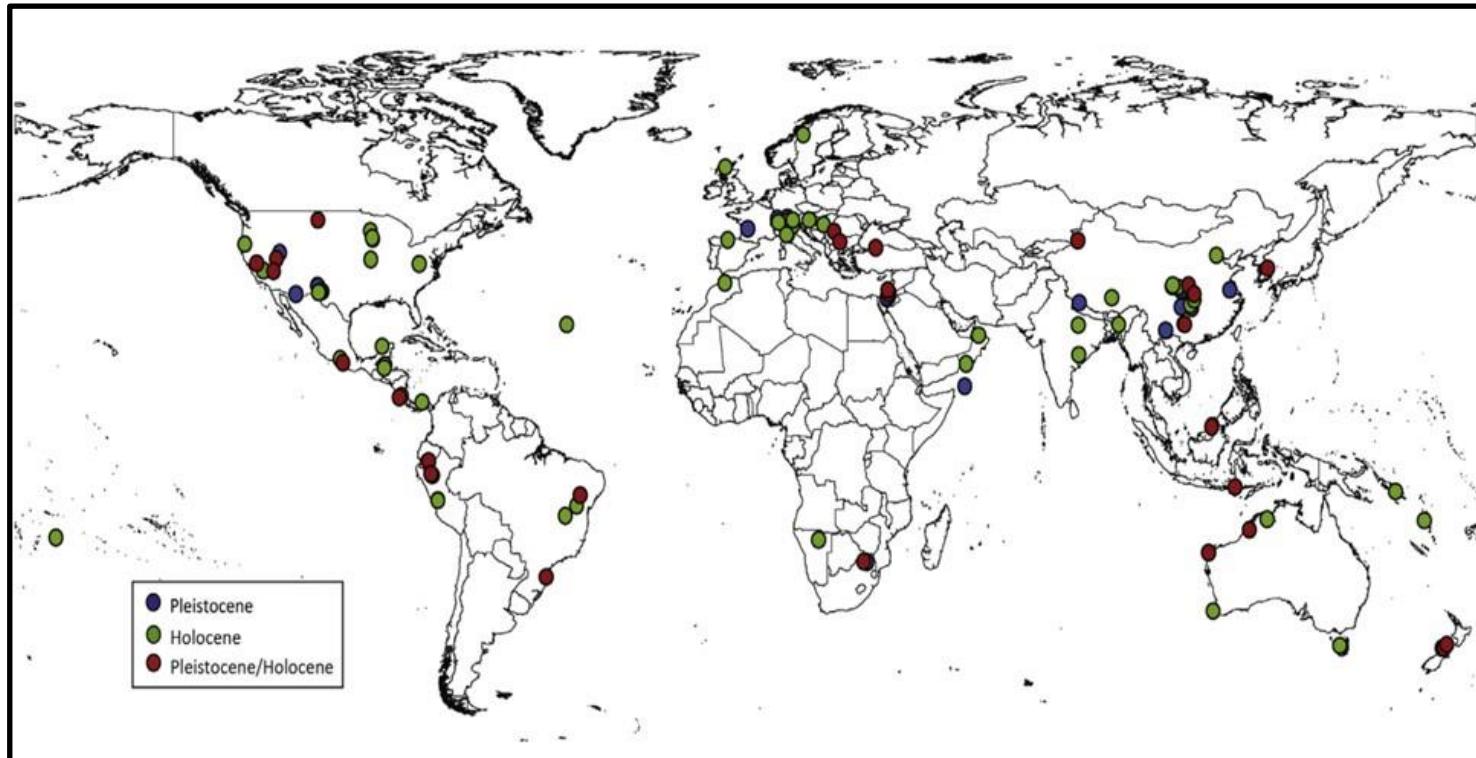
### Definition:

The term "speleothem" as first introduced by Moore (1952), is derived from the Greek words *spēlaion* "cave" + *thēma* "deposit". Speleothems take various forms, depending on the water movement lithological, geological and climatic characteristics. A detailed exposition can be seen in Horn (2020) and Rodet (in press). Commonly known as cave formations, are secondary mineral deposits formed by precipitation from solutions in caves and are common in nearly all cave types and in all possible host rocks.

The bigger number of speleothems are normally made of pure calcium carbonate due to the peculiar relation with the  $\text{H}_2\text{CO}_3$  equilibrium in water.

Their composition influences the changes caused by environmental alterations, is strongly defined by their primary composition.

Caves, and speleothems, occur nearby at all climate zones and in all continents. The map of figure 1 from Wong & Breeker (2015) show a selection of speleothem analyzes for climate determination.



**Fig. 1:** Map with selected points of executed analyses for climate determination (Wong & Breeker, 2015; modified). A lot of these samples are located in industrial or agricultural important regions. Therefore, it may be worthy to determine pollution pathways.

The following table from Wong & Breeker (2015) indicates the studies active in 2015.

The table 2 (Wong & Becker, 2015) show selected activities at the points showed in fig1.

**Table 2: Active studies of cave environments in 2015 (after Wong & Becker, 2015; modified).**

Region	Climate	Duration	Publications
NW Scotland	Maritime temperate	2003–2005	Fuller et al., 2008
S Ireland	Maritime temperate	2000–present	Tooth and Fairchild, 2003; Baldini et al., 2006, 2008, 2012; Sherwin and Baldini, 2011
SW England	Maritime temperate	1991–present	Baker et al., 1997; Baker and Barnes, 1998; Baker and Genty, 1999; Fairchild et al., 2006b; Wynn et al., 2008; Whitaker et al., 2009,
NW Germany	Temperate	2006–present	Immenhauser et al., 2010; Riechelmann et al., 2011, 2013
Belgium	Temperate	1991–1999, 2012–2014	Genty and Deflandre, 1998; Verheyden et al., 2008; Van Rampelbergh et al., 2014
S France	Maritime temperate	1995–present	Baker et al., 2000; Fairchild et al., 2000; Genty et al., 2001b, 2014; Genty, 2008;
NW Switzerland	Temperate	1999–2000, 2011–2014	Daeron et al., 2011; Labuhn et al., 2015
Austria	Temperate	1998–2002	Perrin et al., 2003; Affolter et al., this issue
NE Italy	Meso-thermic humid	1994–1998, 2003–2009	Spotl et al., 2005
Gibraltar	Semi-arid, Mediterranean	2004–present	Fairchild et al., 2000; Huang et al., 2001; Frisia et al., 2011
Israel	Semi-arid, Mediterranean	1990–1997, 2012	Mattey et al., 2008; Mattey et al., 2010; Baker et al., 2014,
Ethiopia	Temperate, wet summer	2004–2007	Bar-Matthews et al., 1997; Ayalon et al., 1998
Guizhou, SW China	Monsoonal	2003–2004, 2008–2010, 2012	Asrat et al., 2008
Hubei, central China	Monsoonal	1993–1994; 2004 –2007, 2010–2011	Zhou et al., 2005; Xie et al., 2008; Luo et al., 2013a,b,c, 2014; Luo and Wang, 2008, 2009; Wu et al., 2014
Beijing, NE China	Monsoonal, temperate	2006–2008	Li et al., 2000; Hu et al., 2008; Ruan and Hu, 2010; Long et al., 2015; Noronha et al., in press
Borneo	Tropical	2006–2012	Cai et al., 2011
Guam	Tropical	2008–present	Partin et al., 2013b; Moerman et al., 2013, 2014
SW Australia	Temperate, dry summer	2005–present	Partin et al., 2012
New South Wales, Australia	Temperate, semi-arid	2002–present	Treble et al., 2013
California, W USA	Mediterranean	2006–2011	McDonald and Drysdale, 2007; McDonald et al., 2004, 2007; Jex et al., 2012;
Arizona	Semi-arid to arid	1989–1990, 2003–2007	Mariethoz et al., 2012; Rutledge et al., 2014; Cuthbert et al., 2014; Rau et al., this issue
New Mexico	Semi-arid to arid	2007–2008	Oster et al., 2010, 2012
Texas, S USA	Sub-humid to semi-arid	1995–present	Buecher, 1999; Wagner et al., 2010 <sup>a</sup>
Alabama, SE USA	Humid subtropical	2005–2008	Asmerom et al., 2010 <sup>a</sup>
Florida, SE USA	Humid subtropical	2005–2010	Musgrove and Banner, 2004; Banner et al., 2007; Pape et al., 2010.; Wong and Banner, 2010;
Yucatan, Mexico	Tropical	2011–present	Wong et al., 2011; Breecker et al., 2012; Feng et al., 2012, 2014; Cowan et al., 2013;
Barbados	Tropical	1998–2000	Lambert and Aharon, 2010, 2011
SE Brazil	Subtropical humid	1990–1992, 2000–2002	Kowalczyk and Froelich, 2010; Tremaine et al., 2011, 2013
			Kennet et al., 2012 <sup>a</sup> ; Ridley et al., 2015 <sup>a</sup>
			Mickler et al., 2004, 2006
			Cruz et al., 2005; Karmann et al., 2007

## Chemical composition and changes

Due to the formation of these cave structures, they may be important indicators of physical-chemical factors environmental evolution such as:

- Indicate of external climate and the situation in the cave by the distribution of the stable isotopes.
  - Indicate the evolution of the pre-karstic- and karstic processes.
  - Indicate changes in the intensity and directions of water availability.
  - Changes in the physical structures of the cave system.
  - Changes in environmental evolution, paleoclimate changes on the surface (Gascoyne, 1992).
  - Airflow indicators.
  - Dating of karste forming and other genetical processes (Gascoyne et al., 1983).
- The table 1 shows some of the possible uses of these speleothems for environmental investigations.
- Alteration and changes in the cave environment after the of the end of karste forming processes.

For the use of the speleothems, we need to consider the different stages of formation:

**a. Initial formation of stalactites and stalagmites sl (“Primokarste”):**

After the installation of empty open spaces, the water begins to drip from the ceiling, forming stalactites and where impacts, stalagmites with a principal composition in according to the chemical situation of water, the height of fall down on free space, orientation of water current at the bottom, air movement and biological activity.

The expressiveness of these formations depends on the overall concentration of  $\text{CaCO}_3/\text{H}_2\text{CO}_3$ , water amount, trim altitude, "climatic" conditions and gas saturation in the empty space.

These shapes are usually well aligned and vertically, with the upper shapes thinner and longer than the lower shapes, which are more compact and irregular. This interface may be expressed by a function of the relative humidity and gas content of the empty space of the conduit and the available amount of running water (Figure 2a) At this initial stage, speleothems are principally formed chemically by the participating water and its composition. The system has cavities but is still closed to the environment.

**b. Continuation of speleothem formation with cave evolution (“karste ss”):**

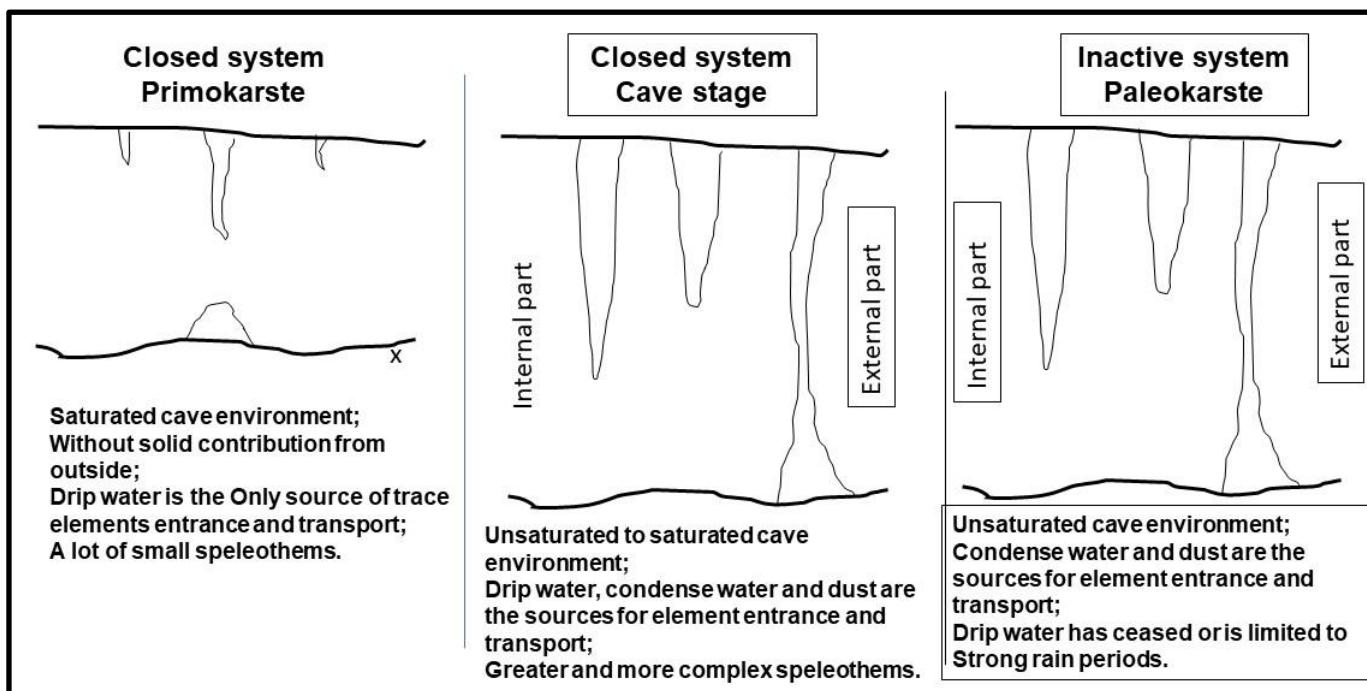
The genesis and dynamics of the cave forming processes cause the permanent formation of new speleothems and the evolution of the existent (Figure 2b). Every one of this show a different initial moment of the path of cave evolution, creating a chemical “vade mecum” of every formed cave.

Here the cave system may be open to the surface and an exogenous factor participates stronger at the chemical forming of the speleothems, like dust, air transported water, pollen, microorganism, organic external compounds, etc.

**c. Speleothem evolution after the karste forming process ceased (“paleokarste”):**

The karste system, due to changes in the level of groundwater or climate changes is not more active. No drip water forms more speleothems.

The composition of the forms corps is now strongly influenced by external factors coming from outside of the cave (Figure 2c).



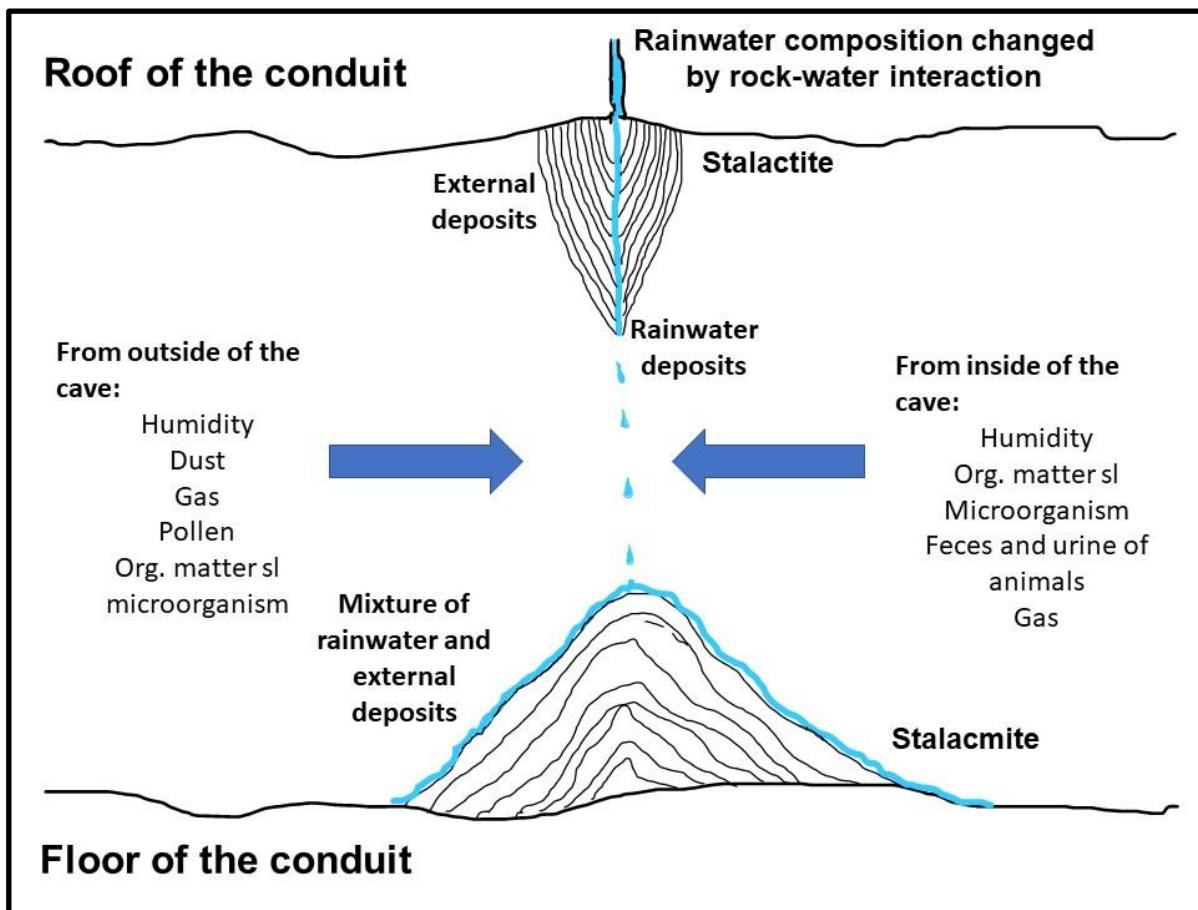
**Fig. 2:** This figure shows schematically the evolution of the environment of speleothems (stalactites and stalagmites) growing in the tree phases of cave evolution, and the possible contributions of indicative trace elements.

Several factors influence in the texture, mineral and chemical composition of speleothems. Table 3 gives an overview of the principal forming processes, factors and their specific functions.

**Table 3:** The table show a resume of factors, which influences in the speleothem formation in different karste and cave systems. Here is tried to show the influence of outside and inside conditions of karste and cave system, its evolutionary stage, the direction and source of water influx and the importance of the factors together with principal speleothem formation by precipitation or erosion sl. (modified and completed from other authors e.g.: Ford & Williams, 2007; Rodet, 2016; com. verb. 2020); own observations). Infl.: Influence; Dep.: deposition/formation; Eros.: Erosion/dissolution;

Using and extracting the data of this table it is possible to create a detailed guide about the influence of these factors and their result in speleothem composition and the environmental interpretation.

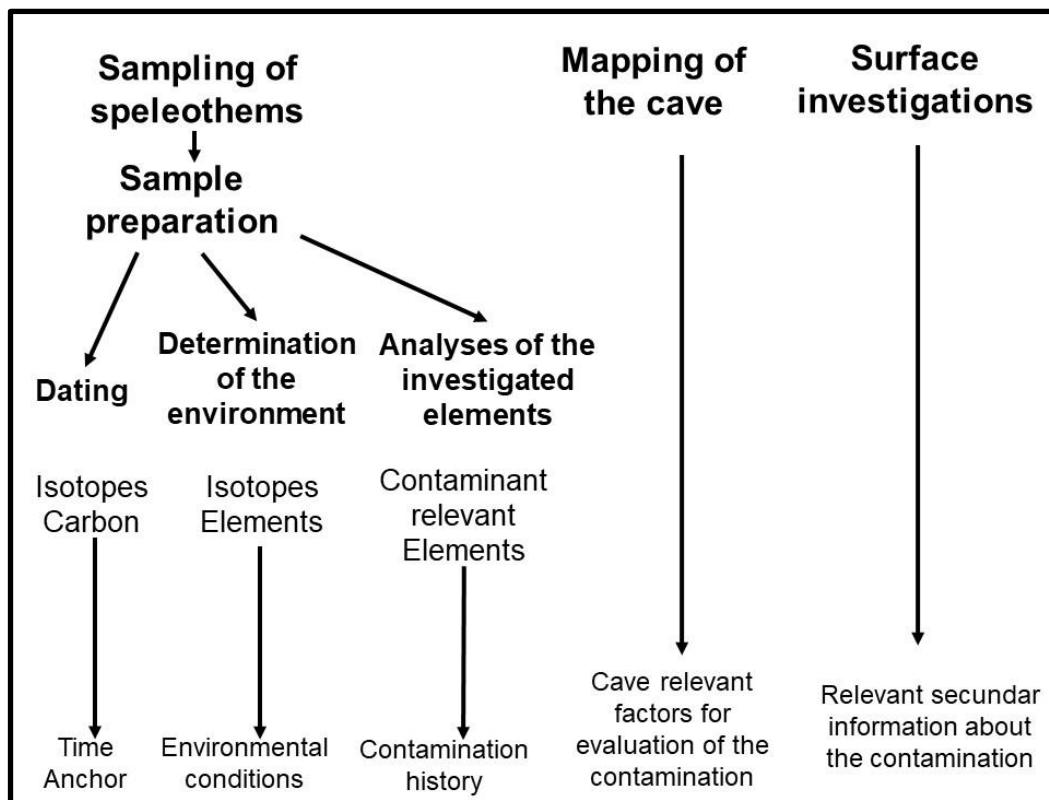
Conditions	Factors I	Factors II	Infl.	How works	Dep.	Eros.	Forms
<b>Water</b>							
	quantity		strong	forming mass	x		all
	composition		strong	forming mass	x		all
		natural	strong	forming mass	x	(x)	all
		hydrothermal	strong	chemical precipitation by supersaturation	x	x	wall, bottom
<b>Air</b>	humid				x	x	near the mouth
	dust weight	inorganic				x	near the mouth
		organic					near the mouth
<b>Substrate</b>							
	Soil		strong	water composition	x		all
	Organism			ph, fugacity, solubility	x	x	all
	viability/watermobility		strong	availability of material	x		all
<b>Environment</b>							
	Temperature (abs; Δ)			evaporation/precipitation	x		all
	Pressure		weak	evaporation/precipitation	x		all
	Air movements	unidirectional		evaporation	x		all
		multidirectional		evaporation	x		all
	organic matter		strong	mineral composition	x		all
			relative	stability of the speleothem	x		all
<b>Conditioning of cave</b>							
	open		strong	evaporation/precipitation	x	x	all
	closed		strong		x		all, small
	high galleries		strong	evaporation/precipitation	x		all
	on air		strong	evaporation/precipitation	x	x	all
	submerged		strong	principally erosion; e.g. whisker	x		none
	water input	top	relative		x	x	all
		bottom	relative		x	x	stalagnites, plane
		active	strong	evaporation/precipitation	x	x	all



**Fig. 3:** All environmental important factors which act over the chemical evolution of stalactites and stalagmites for all phases of cave evolution are shown. Different sections of the speleothems (Stalactites; Stalagmites; Stalagmitic Flowstones show different influence by external or internal factors.

### Basic planning of the investigation

- To obtain a satisfactory result on the investigation it is necessary to follow a1. Detailed map of the cave with location of the speleothems;
2. Knowledge about the environmental problem;
  3. Relation between samples and contacts to external sources;
  4. Not impact affected sample from near the investigated area;
  5. Dating of the investigated profile of the samples;
  6. Analyses of element and isotope concentrations in the investigated profile;
  7. Comparison of the samples to obtain information about "normal" element distribution;
  8. Extraction of impact relevant element concentrations and profiles;
  9. Correlation of all data do obtain a time relevant contamination history in the peculiar local and cave conditions correlated with external pollution situation.



*Fig. 4: Suggested steps for an environmental investigation on speleothems.*

### Suggested sampling proceedings:

For element and isotope determination and fluid inclusions may be used longitudinal and horizontal polished sections of the speleothems and be analyzed by abrasive methodologies (Laser; ions; electrical discharge) accoupled to mass spectrometry, ion probe or synchrotron facilities.

For isotope investigation it is possible to sample also drip water from stalactites. It is necessary to know the dwell of water in the host rock.

Organic or biologic sampling may be done by collection of determined area of every speleothem section. This can be done by mechanical abrasive processes or dissolution by acids.

Recovering of dust particles may be done by dissolution in weak HCl and filtering with black paper filters. The eluate can be used for element determination in the carbonate extract.

### Which information may be used and for what objectives:

To evaluate contamination history correctly we have to combinate a lot of different data (part of them at figure 4).

**Dating results:** To organize the pollution history in time.

**Drip water investigations:** History of climate evolution during the period of contamination investigation.

**Cave evolution:** Information about pollution entrance in the system. Changes of preserved element concentration by e.g., mineral changes and other.

**External (secondary) information:** sources of contamination and quality and quantity of contamination of the system.

### Principal problems in investigations:

The ideal profile is not necessarily rectilinear. These irregularities are caused by changes in the hydrodynamic system and by varying wind direction.

Biological activity may change isotope relations and absolute element concentrations.

Intergrowth od speleothems may interfere in the profiles.

Variations in the base level of the system may change element distribution in speleothems.

Climate changes may change the drip water composition and quantity.

### Conclusions:

Due to the observations in field and literature it is possible to support, that speleothems are excellent “files” of datasets for environmental reconstruction and/or simulation.

It is observed generally, when speleothems occur, a sequence with well-determined development styles.

1. Speleothem formation in caves (principally sedimentary and metamorphic Ca e Ca-Mg limestones; magmatic and metamorphic silicates sl; iron rich units; carbonatic/sulfatic sandstones sl) can be observed distributed through the crust of planet earth and different climate zones;

2. The evolution seems to follow always the same pathway (prekarste, primokarste, karste sl, paleokarste; Rodet, 2016; com. verb.);

3. along the pathway speleothems are affected nearby by the same physical-chemical processes, beginning with only internal influence passing by and a stronger influence of external factors which are predominant at the paleokarste phase. A reactivation can change the relation between internal and external factors.

4. Initial chemical composition is determined by the meteoric water, the host rock composition and the processes during the passage of the drip water;

5. The fingerprint of speleothem chemical composition will start with a rock-rainwater equilibrium and finish with a strongly by secondary factors like industrial and agricultural influenced spectrum;

6. The entrance of PDE's may occur by drip water and wind driven dust;

7. Significant isotope relation may be influenced by initial distribution in rain water, changed by intra-cave biological activities;

8. Mineral changes in the speleothem substrate are caused by chemical changes of the drip water and changes of temperature during carbonate crystallization.

### Acknowledgements:

We will thank specially Dr. J. Rodet for personal discussion and contributions.

### Bibliographic Sources:

ASRAT, A.; BAKER, A.; MOHAMMED, M.U.; LENG, M.L.; CALSTEREN, P.van & and CLAIRE SMITH, C. 2007. A high-resolution multi-proxy stalagmite record from Mechara. Southeastern Ethiopia: palaeohydrological implications for speleothem palaeoclimate reconstruction. JOURNAL OF QUATERNARY SCIENCE, 22(1): p. 53–63.

BAJO, P.; BORSATO, A.; DRYSDALE, R.; HUA, Q.; FRISIA, S.; ZANCHETTA, G.; HELLSTROM, J. & WOODHEAD, J. 2017. Stalagmite carbon isotopes and dead carbon proportion (DCP) in a near-closed system situation: An interplay between sulfuric and carbonic acid dissolution. Geochimica et Cosmochimica Acta, doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.gca.2017.04.038>

- BALDINI, J.U.L.; MCDERMOTT, F.; A. BAKER, A.; BALDINI, L.M.; MATTEY, D.P. & Railsback, L.B. 2005. Biomass effects on stalagmite growth and isotope ratios: A 20th century analogue from Wiltshire, England. *Earth and Planetary Science Letters* 240: p. 486–494.
- BASKAR, S.; BASKAR, R.; TEWARP, V.C.; INGUNN H. THORSETH, I.H.; OEVREAS, L., NATUSCHKA M. LEE, N.M. & ROUTH, J. 2011. CAVE GEOMICROBIOLOGY IN INDIA: STATUS AND PROSPECTS. DOI:[10.1007/978-94-007-0397-1\\_24](https://doi.org/10.1007/978-94-007-0397-1_24)
- BORSATO, A.; FRISIA, S.; FAIRCHILD, I.J.; SOMOGYI, A. & SUSINI, J. 2007. Trace element distribution in annual stalagmite laminae mapped by micrometer-resolution X-ray fluorescence: Implications for incorporation of environmentally significant species. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 71: p. 1494–1512.
- BRADLEY, C.; BAKER, A.; JEX, C.N. & LENG, M.L. 2010. Hydrological uncertainties in the modelling of cave drip-water d<sub>18</sub>O and the implications for stalagmite paleoclimate reconstructions. *Quaternary Science Reviews* 29: p. 2201-2214.
- BREITENBACH, S.F.M.; LECHLEITNER, F.A.; MEYER, H.; DIENGDOH, G.; MATTEY, D. & MARWAN, N. 2015. Cave ventilation and rainfall signals in drip water in a monsoonal setting - A monitoring study from NE India. *Chemical Geology*, 402: p. 111-124.
- DAËRON, M.; GUO, W.; EILER, J.; GENTY, D.; BLAMART, D.; BOCH, R.; DRYSDALE, R.; MAIRE, R.; WAINER, K.; ZANCHETTA, G. 2011. <sup>13</sup>C<sup>18</sup>O clumping in speleothems: Observations from natural caves and precipitation experiments. *Geochimica et Cosmochimica, Acta* 75: p. 3303–3317. [www.elsevier.com/locate/gca](http://www.elsevier.com/locate/gca)
- FAIRCHILD, I.J.; BORSATO, A.; TOOTH, A.F.; FRISIA, S.; HAWKESWORTH, C.J.; HUANG, Y.; MCDERMOTT, F. & SPIRO, B. 2000. Controls on trace element (Sr–Mg) compositions of carbonate cave waters: implications for speleothem climatic records. *Chemical Geology*, 166: p. 255–269.
- FAIRCHILD, I.J.; BAKER, A.; BORSATO, A.; FRISIA, S.; HINTON, R.W.; MCDERMOTT, F. & ANNA F. TOOTH, A.F. 2001. Annual to sub-annual resolution of multiple trace-element trends in speleothems. *Journal of the Geological Society, London*, Vol. 158: p. 831–841.
- FIELD, M.S. 2002. A lexicon of cave and karste terminology with special reference to environmental karste hydrology; United States Environmental Protection Agency, National Center for Environmental Assessment, EPA/600/R02/003 (Supercedes EPA/600/R-99/006, 1/\_99).
- FINCH, A.A.; SHAW, P.A.; HOLMGREN, K. & LEE-THORP, J. 2003. Corroborated rainfall records from aragonitic stalagmites. *Earth and Planetary Science Letters*, 215: p. 265-273.
- FORD, D. & WILLIAMS, P. 2007. Karste Hydrogeology and Geomorphology. John Wiley and Sons. Ltda. Chichester, West Sussex. 562p.
- FRISIA, S.; BORSATO, A.; FAIRCHILD, I.J. & MCDERMOTT, F. 2000. CALCITE FABRICS, GROWTH MECHANISMS, AND ENVIRONMENTS OF FORMATION IN SPELEOTHEMS FROM THE ITALIAN ALPS AND SOUTHWESTERN IRELAND.
- GASCOYNE, M. 1992. Paleoclimate determination from cave calcite deposits. *Quaternary Science Reviews*, 11, p609–32.
- GÖKTÜRK, O.M.; FLEITMANN, D.; BADERTSCHER, CHENG, S.H.; EDWARDS, R.L.; LEUENBERGER, M.; FANKHAUSER, A.; O. TÜYSÜZ, O. & KRAMERS, J. 2014. Climate on the southern Black Sea coast during the Holocene: implications from the Sofular Cave record. *Quaternary Science Reviews*, 30: p. 2433-2445
- GREEN, H.; PICKERING, R.; DRYSDALE, R.; JOHNSON, B.C.; HELLSTROM, J. & WALLACE, M. 2015. Evidence for global teleconnections in a late Pleistocene speleothem record of water balance and vegetation change at Sudwala Cave, South Africa. *Quaternary Science Reviews*, 110: p. 114-130.

- KLUGE, T. & AFFEK, H.P. 2012. Quantifying kinetic fractionation in Bunker Cave speleothems using D47. *Quaternary Science Reviews*, 49: p. 82-94. journal homepage: [www.elsevier.com/locate/quascirev](http://www.elsevier.com/locate/quascirev)
- KOTLIA, B.S.; AHMAD, S.M.; ZHAO, J-X.; RAZA, W.; COLLERSON, K.D.; JOSHI, L.M. & SANWAL, J. 2012. Climatic fluctuations during the LIA and post-LIA in the Kumaun Lesser Himalaya, India: Evidence from a 400y old stalagmite record. *Quaternary International*, 263: p. 129-138.
- LACHNIET, M.S.; BURNS, S.J.; PIPERNO, D.R.; ASMEROM, Y.; POLYAK, V.J.; MOY, C.M. & CHRISTENSON, K. 2004. A 1500-year El Niño. Southern Oscillation and rainfall history for the Isthmus of Panama from speleothem calcite. *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH*, Vol. 109: p. 1-8.
- LACHNIET, M.S. 2009. Climatic and environmental controls on speleothem oxygen-isotope values. *Quaternary Science Reviews*, 28: p. 412–432.
- LI, H-C.; KU, T-L.; YOU, C-F.; CHENG, H.; EDWARDS, R. L.; MA, Z-B; TSAI W-S. & LI, M-D. 2005.  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  and Sr/Ca in speleothems for paleoclimate reconstruction in Central China between 70 and 280kyr ago. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 69, No. 16: p. 3933–3947.
- MCDONALDS, G.J.F. 1956. Experimental Determination of calcite aragonite equilibrium relations at elevated temperatures and Pressures. Publication No. 59. Institute of Geophysics, University of California.
- MICKLER, P.J.; STERN, L.A. & BANNER, J.L. 2006. Large kinetic isotope effects in modern speleothems. *GEOLOGICAL SOCIETY OF AMERICA BULLETIN*: <https://www.researchgate.net/publication/259324024>.
- MORENO, A.; SANCHO, C.; BARTOLOMÉ, M.; OLIVA-URCIA, B.; DELGADO-HUERTAS, A.; ESTRELA, M.J.; CORELL, D.; LÓPEZ-MORENO, J.I. & CACHO, I. 2014. Climate controls on rainfall isotopes and their effects on cave drip water and speleothem growth: the case of Molinos cave (Teruel, NE Spain). *Clim Dyn*, 43: p. 221–241.
- NAGRA, G.; TREBLE, P.C.; ANDERSEN, M.S.; FAIRCHILD, I.J.; COLEBORN, K. & BAKER, A. 2016. A post-wildfire response in cave drip water chemistry. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 20: p. 2745–2758. [www.hydrol-earth-syst-sci.net/20/2745/2016/](http://www.hydrol-earth-syst-sci.net/20/2745/2016/)
- NEHME, C.; VERHEYDEN, S.; NOBLE, S.; FARRANT, A. & DELANNOY, J-J. 2015. Contribution of an accurate growth rate reconstruction of a stalagmite from the Kanaan Cave-Lebanon to the understanding of humidity variations in the Levant during the MIS 5. *GEOLOGICA BELGICA*, 18/2-4: p. 102-108.
- PACTON, M.; BREITENBACH, S.F.M.; LECHLEITNER, F.A.; VAKS, A.; ROLLION-BARD, C.; GUTAREVA, O.S.; A. V. OSINTCEV, A.V. & C. VASCONCELOS, C. 2013. The role of microorganisms in the formation of a stalactite in Botovskaya Cave, Siberia – paleoenvironmental implications. *Biogeosciences*, 10: p. 6115–6130.
- PENTECOST, A. 1994. Travertine-forming cyanobacteria, in Breakthroughs in Karste Geomicrobiology and Redox Geochemistry (eds I.D. Sasowsky and M.V. Palmer), Special Publication 1, Karste Waters Institute, Charles Town, WV, p. 60.
- PERRIN, C.; PRESTIMONACO, L.; SERVELLE, G.; ROMAIN TILHAC, R.; MAURY, M. & CABROL, P. 2014. ARAGONITE–CALCITE SPELEOTHEMS: IDENTIFYING ORIGINAL AND DIAGENETIC FEATURES. *Journal of Sedimentary Research*, v. 84: p. 245–269.
- RODET, J. 2016. La grotte, fruit d'une longue gestation appellee karsteification. *Karsteologia*, No 69. p57-64.
- ROSSI, C.; BAJO, P.; C. LOZANO, R.P. & HELLSTROM, J. 2018. Younger Dryas to Early Holocene paleoclimate in Cantabria (N Spain): Constraints from speleothem Mg, annual fluorescence banding and stable isotope records. *Quaternary Science Reviews* 192: p. 71-85.
- SALJE, E. & VISHVANATAN, K. 1976. The Phase Diagram Calcite-Aragonite as derived from the Crystallographic Properties. *Contrib. Mineral. Petrol.* Springer, 55: p55-67.
- SCHIMPFF, D.; KILIAN, R.; KRONZ, A.; SIMON, K.; SPÖTL, C.; WÖRNER, G.; DEININGER, M. & MANGINI, A. 2010. The significance of chemical, isotopic, and detrital components in three coeval stalagmites from the superhumid southernmost Andes (53°S) as high-resolution paleo-climate proxies. *Quaternary Science Reviews*, doi:10.1016/j.quascirev.2010.12.006.

- WONG, C.I. & BREECKER, D.O. 2015. Advancements in the use of speleothems as climate archives. *Quaternary Science Reviews*, p. 1-18.
- WYNN, P.M.; BORSATO, A.; BAKER, A.; FRISIA, S.; MIORANDI, R.; FAIRCHILD, I.J. 2012. Biogeochemical cycling of Sulphur in karste and transfer into speleothem archives at Grotta di Ernesto, Italy. Springer, *Biogeochemistry*, online. DOI 10.1007/s10533-012-9807-z
- ZHOU, H.; FENG, Y-X; ZHAO, J-X; SHEN, C-C; YOU, C-F & LIN, Y. 2009. Deglacial variations of Sr and  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratio recorded by a stalagmite from Central China and their association with past climate and environment. *Chemical Geology*, doi:10.1016/j.chemgeo.2009.09.003.

### 3. El uso de arcillas caoliníticas como extensor del cemento en Cuba, una mirada desde los CTS

Luis Alberto Pérez García

Departamento de Geología, Universidad de Moa Avenida Calixto García Iñiguez #15 entre Av. 7 de diciembre y Calle Reynaldo Laffita Rueda, Rpto Caribe, Moa, Holguín

[lapgarcia@ismm.edu.cu](mailto:lapgarcia@ismm.edu.cu)

#### Resumen

El presente trabajo pretende realizar un análisis desde el punto de vista de los estudios de Ciencia Tecnología y Sociedad CTS, al hecho científico de la implementación de arcillas térmicamente activadas como extensores del cemento en Cuba. Se analizan las más recientes investigaciones y decisiones tomadas por el estado cubano para la puesta en marcha de esta tecnología en el país. Se concluye que, con la utilización de arcillas térmicamente activadas como sustituto del clínquer se obtiene un cemento ecológico que reduce al 50% las emisiones de dióxido de carbono. El estudio de las variables de entrada y salida del horno permite regular parámetros que redundan en la optimización del uso de la energía y el agua que demanda la industria. Se presenta la oportunidad de utilizar recursos y reservas de materiales inviables para las industrias tradicionales del caolín, así como la reutilización de desechos de otras industrias. Surge una posibilidad de desarrollar industrias ecológicas, generadoras de empleo y amigables con el medio ambiente.

#### 1. Introducción

Cuba ha desplegado una activa política del conocimiento que ha priorizado, desde el inicio de la Revolución: la formación del potencial humano, la educación, la creación de capacidades científicas y tecnológicas y el desarrollo cultural. En el país pueden mostrarse ejemplos formidables de creación de esas capacidades bien articuladas a la sociedad, por ejemplo, en la industria biotecnológica. Sin embargo, semejantes resultados no se alcanzan eficazmente en todos los sectores como lo demuestran numerosos diagnósticos disponibles y, en particular, las tres encuestas de innovación realizadas hasta la fecha <sup>1</sup>. Se impone antes que todo, entender las imprescindibles relaciones que existen entre el sistema de investigación, innovación, desarrollo tecnológico y su impacto a nivel social como variables del desarrollo sostenible.

El concepto de desarrollo sostenible, término aplicado al desarrollo económico y social, tiene su origen en el Informe Brundtland de la ONU de 1987, y es aquel que permite hacer frente a las necesidades del presente sin poner en peligro la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades <sup>2,3</sup>.

En Cuba, la Ley 81 de Medio Ambiente de 1997, en su Artículo 8, define: desarrollo sostenible como “proceso de elevación sostenida y equitativa de la calidad de vida de las personas, mediante el cual se procura el crecimiento económico y el mejoramiento social, en una combinación armónica con la protección del medio ambiente, de modo que se satisfagan las necesidades de las actuales generaciones, sin poner en riesgo las de las futuras generaciones”<sup>4</sup>.

“De acuerdo con las Naciones Unidas, la diferencia que existe entre desarrollo sostenible y desarrollo sustentable es que este último es el proceso por el cual se preservan, conservan y protegen solo los recursos naturales para el beneficio de las generaciones presentes y futuras sin tomar en cuenta las necesidades sociales, políticas ni culturales del ser humano, mientras que el primero es el proceso mediante el cual se trata de satisfacer las necesidades económicas, sociales, de diversidad cultural y de un medio ambiente sano de la actual generación, sin poner en riesgo la satisfacción de las mismas a las generaciones futuras.”

Para algunos autores, el adjetivo sostenible es equivalente a los adjetivos sustentable, perdurable, durable. Para otros autores, sostenible y sustentable no son términos semejantes; por ejemplo, el periódico Granma de la República de Cuba en la página 2 de su edición del 30 de abril del 2013 afirma que: Para el desarrollo de esta investigación se considera más adecuado utilizar el término “desarrollo sostenible”, teniendo en cuenta que este se refiere a la protección del medio ambiente en relación con la satisfacción de las necesidades económicas, sociales y culturales.

Desarrollar una minería sostenible que garantice las necesidades actuales de la sociedad, sin poner en riesgo las de las futuras generaciones y, al mismo tiempo, proteger el medio ambiente, constituye el gran desafío del sector minero y de los gobiernos.

Para ello, entre otras medidas, se necesita el uso de tecnologías de avanzada que afecten menos al medio ambiente y que garanticen la explotación racional de los recursos, la definición temprana del uso futuro de los suelos, la previsión del posible redimensionamiento de la actividad económica al cierre de las operaciones mineras, la adquisición de una adecuada cultura tecnológica, la aplicación de las legislaciones ambientales existentes, así como, la implicación de los diferentes actores sociales en la toma de decisiones y en los procesos de capacitación relacionados con la explotación de los recursos.

La sostenibilidad de la industria minera descansa sobre bases económicas, ambientales y sociales. Cada uno de estos aspectos debe ser considerado por separado, aunque una solución sustentable requiera la integración de los tres aspectos”. Evidentemente, con esta integración, se garantiza el perfeccionamiento de las potencialidades del contexto minero y la reducción de los perjuicios que provoca la explotación de sus recursos.

En cuanto al desarrollo de una minería sostenible, Cuba ha mostrado preocupación e interés en su puesta en práctica, aunque los resultados aún no son los esperados. Esencialmente, se ha profundizado en la dimensión ambiental que plantea el concepto. En relación con ello, se han dado pasos importantes hacia la protección ambiental a partir de la aprobación de leyes y decretos que regulan la política minera y el proceso de rehabilitación de los llamados pasivos ambientales.

Por otro lado, que la ciencia resulte atractiva e interesante para los ciudadanos es fundamental para su futuro. El de la ciencia y el de todos. Del interés que se pueda despertar en las primeras edades depende que sean más (y más creativos) quienes se planteen la posibilidad de dedicarse a la ciencia en el futuro. Pero también que sean más (y más formados) los que entiendan las claves del mundo en el que vivimos y participen responsablemente en él. Porque la ciencia no es solo un posible destino profesional para unos pocos. Es también un elemento básico en la educación y en la vida de todos<sup>5</sup>. De esto se desprende que hay que poner en una balanza lo primero (el aspecto de la sostenibilidad) y lo segundo (la ciencia como fenómeno desarrollado por los seres humanos).

Hoy somos conscientes de que los cambios se dan a escala intrageneracional. A lo largo de una vida, el mundo cambia mucho más que lo que antes cambiaba de una generación a la siguiente. Vivimos, por tanto, en un mundo nuevo en el que el desarrollo tecnocientífico es mucho más relevante que nunca. Tanto, que hablamos de sociedad del conocimiento y sociedad del riesgo para intentar caracterizar lo definitorio de nuestro presente<sup>5,6</sup>. El tema de las interrelaciones entre ciencia, tecnología y desarrollo social es quizá el más importante y complejo que pueda plantearse ante los estudios CTS desde la perspectiva de los países subdesarrollados.

El nuevo paradigma tecnológico conectado al proceso de globalización que tiene lugar en el mundo plantea retos extraordinarios a los países del Sur. La brecha entre desarrollados y subdesarrollados tiende a profundizarse y deviene irreversible. Sin duda el poderío científico y tecnológico está jugando un activo papel en esos procesos de polarización de la riqueza y el poder.

La relación entre ciencia, tecnología y desarrollo social es un problema al cual el pensamiento latinoamericano ha dedicado no poca atención, sobre todo en las décadas de los años 50, 60 y 70, período en el cual se construyeron auténticos paradigmas de las ciencias sociales latinoamericanas, tales como la concepción estructuralista promovida por la CEPAL o primera teoría global del desarrollo y las teorizaciones sobre la dependencia<sup>7</sup>.

Uno de los temas más complejos y relevantes que tiene que asumir hoy el pensamiento CTS en América Latina es el de la interrelación entre innovación y desarrollo social. La globalización en curso y su fuerte asentamiento en el paradigma tecnológico dominante plantea un desafío incomparablemente mayor que cualquier otro a los países latinoamericanos y en general del Sur. América Latina representa aproximadamente el 2,4% de los científicos e ingenieros dedicados a I+D en el planeta y consume aproximadamente el 1,8% del gasto mundial en esas actividades. A inicios de los años 60 la Región dedicaba el 0,2% del PIB a I+D, en los 80 llegó a dedicarle el 0.5% y las cifras más recientes reportan el 0,4%. Existen más de 3,5 millones de profesionales de los cuales cerca de 100 mil se dedican a actividades de I+D y más de 6 millones son estudiantes universitarios; cada año se gradúan alrededor de 500 mil jóvenes de los cuales el 20% proviene de ingenierías, ciencias exactas y naturales. Muchos países tienen establecidos los estudios de posgrado. En las décadas de los años 50, 60 y 70 la institucionalización de la ciencia recibió un significativo impulso a través de la creación de facultades de ciencias e ingenierías, institutos de investigación y consejos nacionales de ciencia y tecnología encargados de las actividades de planificación<sup>8</sup>.

Se impone la necesidad de aplicar los enfoques CTS a la manera actual de hacer ciencia. Y no es que no se haga en Cuba, pero lo cierto es que se puede hacer mejor, partiendo de la idea de que el núcleo central del enfoque CTS de la enseñanza de las ciencias consiste en hacer explícitas las relaciones entre los tres elementos de la tríada ciencia, tecnología y sociedad.

Estas relaciones son deudoras del desarrollo de la epistemología y la historia de la ciencia, con hondas raíces en la filosofía<sup>9</sup>, y el más reciente desarrollo de los estudios sociales de la ciencia y la tecnología<sup>10</sup>.

La cuestión de la evaluación de las actitudes puede suponer un importante obstáculo curricular a la hora de afrontar la educación CTS<sup>11</sup>.

El presente trabajo explora la utilización de arcillas caoliníticas cubanas como extensores del cemento mediante activación térmica desde la perspectiva de los CTS, teniendo como premisa que ésta se presenta como la más innovadora forma de producir cemento ecológico bajo las condiciones cubanas.

### 1.1 Fundamentación de la investigación

La novedad científica del estudio radica en el aprovechamiento de las características de arcillas cubanas de variada génesis geológica y con un contenido variable de minerales del grupo de caolín, como fuente de materia prima para la obtención de puzolanas de alta reactividad, la determinación de los mejores parámetros de activación térmica para lograr la mejor reactividad en los productos derivados de la calcinación de la fracción arcillosa multicomponente y establecer pautas para el aprovechamiento de nuevas reservas minerales a partir del establecimiento de consideraciones acerca del empleo de yacimientos arcillosos multicomponentes como fuente de materiales puzolánicos.

La actualidad de la investigación se centra en su estrecho vínculo con la política estratégica trazada por el Ministerio de la Construcción de Cuba para el estudio y evaluación de materias primas nacionales como fuente de materiales cementantes suplementarios para la reducción del contenido de clínquer en los cementos, como una forma de satisfacer la alta demanda y favorecer el ahorro de recursos económicos y energéticos. La vinculación a líneas priorizadas desde el gobierno que incluyen El Programa Nacional de la Vivienda y El Programa Nacional de Construcción e Inversiones. El desarrollo de tecnologías y materiales para la construcción y la vivienda está incluido dentro de las áreas temáticas de la investigación científica definidas como estratégicas por el Ministerio de Educación Superior en Cuba, como parte de la implementación de la actividad científica como motor del desarrollo del país. Desarrollar procesos y tecnologías autóctonas que garanticen una utilización adecuada de las materias primas, materiales y recursos naturales del país, potenciar el uso de materiales que contribuyan a mitigar los efectos del cambio climático, además de fortalecer el desarrollo de la industria de materiales para la construcción constituyen ejes y sectores estratégicos definidos en el Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social hasta el 2030. A su vez, la internacionalización de los resultados obtenidos y su implementación en el desarrollo de aglomerantes con altos volúmenes de sustitución de clínquer contribuirá a la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas a la producción de cemento a escala global y al aprovechamiento de una mayor variedad genética de depósitos arcillosos.

### 2. Materiales y métodos

El presente trabajo se desarrolló a partir de la revisión crítica de la bibliografía existente acerca del tema en cuestión. La precisión de la fuente y su papel, la caracterización del proceso de análisis que ejecutó con la documentación y la construcción de los resultados de la revisión, en forma de aparato crítico. Estos tres componentes funcionaron como operadores epistemológicos de la revisión bibliográfica y propiciaron, en su interrelación dialéctica, el desarrollo de todo un proceso signado por la búsqueda y procesamiento de la información necesaria y suficiente para la construcción del marco teórico referencial de la investigación, que deviene su producto peculiar.

Como material de estudio se utilizó la investigación doctoral en curso titulada: ***Evaluación de la influencia de las características genéticas y mineralógicas de los depósitos de arcilla caolinítica y sus parámetros de procesamiento en la reactividad puzolánica.***

### 3. Resultados y discusión

#### 3.1. El Problema de la producción mundial de cemento Portland desde los CTS

El cemento Portland (CPO) se encuentra entre los materiales más empleados y con mayor volumen de producción a nivel mundial. Si se le compara con otros materiales de construcción como los plásticos, el aluminio, la madera, el acero o el vidrio, los costos energéticos y de emisiones de gases de efecto invernadero por unidad de masa del CPO son muy bajos (Figura 1).

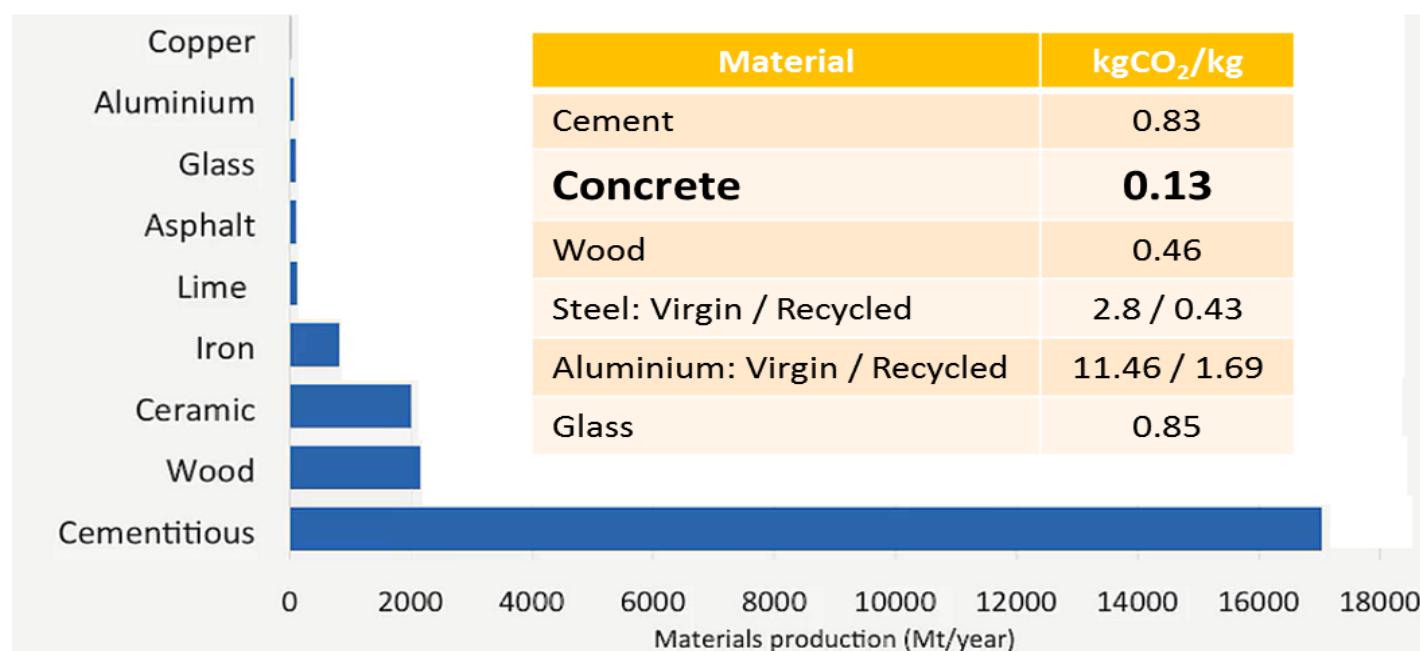


Figura 1. Producción anual de los materiales más comunes en la industria vs emisiones de CO<sub>2</sub>

La sustitución de cemento a gran escala por otros materiales con características similares es poco probable si se tiene en cuenta la disponibilidad de las materias primas. Los ocho elementos más comunes en la corteza terrestre (oxígeno, silicio, aluminio, hierro, calcio, sodio, potasio y magnesio), y que constituyen alrededor del 98 % de esta corteza, se encuentran también representados como principales constituyentes del cemento. Solo el azufre se halla fuera de esta correlación de elementos químicos, pero puede encontrarse como sulfuros y sulfatos en diversos minerales.

Esta es una de las principales razones por las que el cemento promete seguir siendo el aglomerante más importante en el sector de la construcción, debido a que las materias primas para su producción son geológicamente extensas y abundantes, y su agotamiento es poco probable en los próximos años <sup>12</sup>.

Sin embargo, por sus altos volúmenes de producción (Figura 2), su elaboración está asociada a un alto consumo energético y a grandes volúmenes de emisiones de CO<sub>2</sub> a escala global, fundamentalmente durante la producción del clínker, factores que influyen de forma negativa en sus costos y sostenibilidad ambiental <sup>13</sup>.

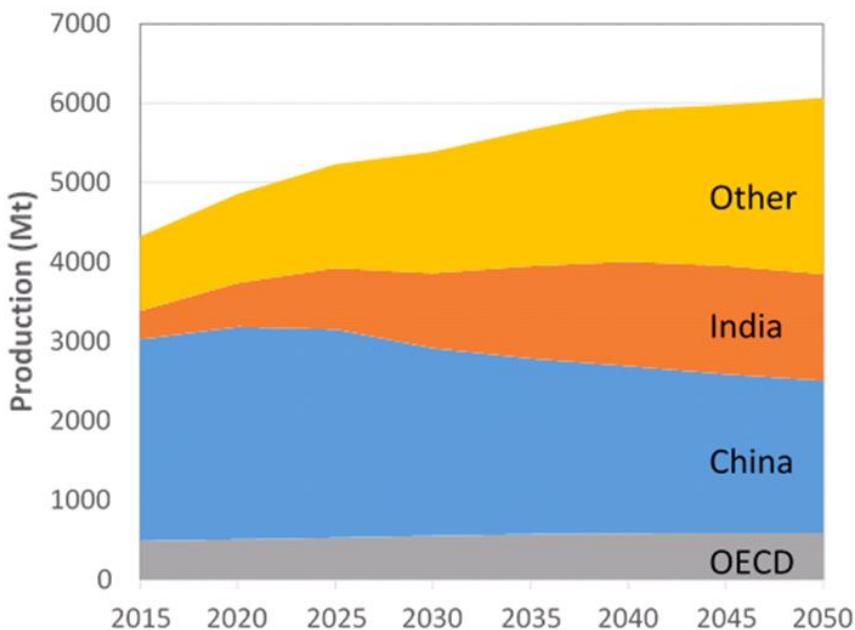


Figura 2. Estimado de producción de cemento hasta 2050, tomado Technology Road Map, 2020

Por lo tanto, sus demostradas ventajas como material de construcción y su necesaria demanda para el desarrollo socioeconómico contrastan con un negativo impacto medioambiental, en un momento en que el cuidado del entorno y la eficiencia en la utilización de los recursos energéticos deben estar entre las principales prioridades de la humanidad<sup>14</sup>.

La amenaza que constituye el cambio climático (Figura 3) ha reunido diversos países, corporaciones e instituciones para la búsqueda de políticas que contribuyan a mitigar el impacto ambiental y a crear un modelo sostenible para la producción de cemento. En este sentido, las acciones a tomar en cuenta para la reducción de las emisiones causadas por la industria del cemento deben ser consideradas desde un enfoque regional, como alternativa para la toma de decisiones más objetivas y acertadas de acuerdo con las características de cada país o región.



Figura 3. El concepto de cambio climático cambiará la manera en que se desarrolla la humanidad

En el caso cubano se impone la necesidad de cambiar los patrones constructivos, para fabricar unidades habitacionales resistentes a los huracanes que afectan cada año a la isla.

### 3.2. La solución más prometedora en las condiciones cubanas

Entre las soluciones más extendidas (Figura 4) a este problema se encuentra el empleo de adiciones minerales con carácter puzolánico, o puzolanas, al cemento Portland, con lo cual se incrementa en general su resistencia mecánica y durabilidad frente a un determinado número de agentes ambientales<sup>15</sup>. Al mismo tiempo, al reducirse el contenido de cemento Portland en el aglomerante, se favorece la disminución en el empleo de energías no renovables y las emisiones de gases de efecto invernadero por cantidad de aglomerante. De esta forma, se obtienen notables beneficios ingenieriles, económicos y medioambientales<sup>16</sup>. La reducción del factor de clínquer en el cemento, a través del empleo de Materiales Cementicios Suplementarios (MCS) es una de las alternativas más prometedoras, para su desarrollo a corto y a mediano plazo, entre las definidas por la industria del cemento para lograr la sostenibilidad ecológica y medio ambiental de su producción. El desarrollo y aplicación de los materiales puzolánicos como sustitutos parciales del CPO (Figura 5) ha sido hasta ahora una estrategia desarrollada sobre todo a partir de las características propias de los países industrializados, de lo cual da fe el hecho de que el mayor volumen de estos materiales, a escala global, lo constituyen subproductos del sector industrial. Sin embargo, los suministros de los MCS más comunes, que son escorias y cenizas volantes, son bastante limitados en comparación con la producción mundial de cemento. En el caso cubano son inexistentes.

## El enfoque actual reduce el factor Clinker



Figura 4. Enfoque actual de la reducción de la carga contaminante en la producción de CPO

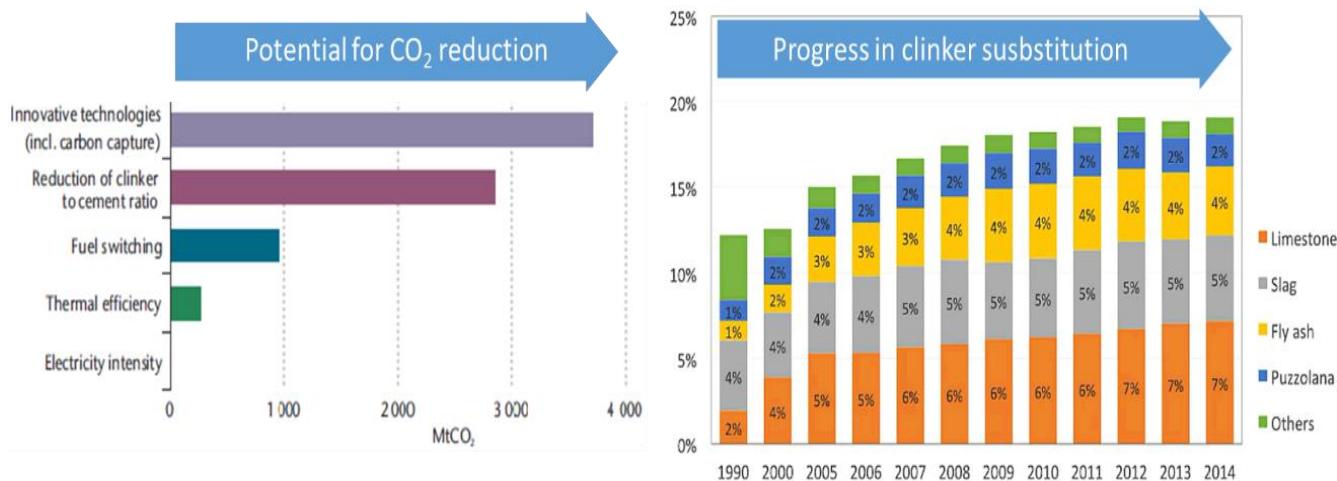


Figura 5. La sustitución del clínquer por MCS es la estrategia para la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> que brinda mayores beneficios a un menor costo de inversión

Las arcillas calcinadas son la fuente más prometedora de MCS adicionales que pueden hacer una contribución sustancial para reducir aún más el impacto ambiental del cemento y el hormigón<sup>17</sup>. Cuba cuenta con una enorme reserva de estos materiales.

Por otro lado, con la adición de arcillas calcinadas, se mantiene o aumenta la resistencia mecánica y la durabilidad de la matriz de cemento<sup>15,18</sup> y, al mismo tiempo, la reducción del consumo de energía. Se favorecen además, las emisiones de gases de efecto invernadero por cantidad de aglutinante<sup>16</sup>.

Las investigaciones sobre el tema de las arcillas calcinadas como fuentes puzolánicas, se han dirigido a diferentes puntos de análisis, siendo las temperaturas de activación y el contenido de caolín, quizás, los más importantes y los mejor estudiados.

Una parte considerable de los estudios se ha centrado en la evaluación de arcillas de alta pureza con contenidos minerales apreciables del grupo de caolín, y solo en los últimos años se han estado desarrollando trabajos dirigidos a arcillas con un contenido de minerales del grupo del caolín relativamente bajo, que generalmente hace que este tipo de depósito sea inutilizable por las industrias establecidas, como papel y cerámica blanca.

En estas investigaciones, se presta especial atención al contenido minerales del grupo de caolín, montmorillonita e illitas, así como a un pequeño grupo de minerales acompañantes, que son térmicamente activos en el rango de deshidroxilación de la caolinita. Del mismo modo, se pone especial énfasis en la temperatura óptima de activación para obtener una puzolana altamente reactiva. En este sentido, se puede decir que, la mayoría de los autores citados consideran, independientemente del tipo de arcilla, los 800 ° C como temperatura imponderable, teniendo en cuenta que el rango entre 600 y 900 ° C se ha definido como el intervalo de activación térmica más favorable. Sin embargo, se debe decir que, en todas estas investigaciones se realiza un análisis muy superficial de las condiciones geológicas de formación de los diferentes depósitos de arcillas, así como su estrecho vínculo con el tipo de mineral arcilloso y los minerales acompañantes, y en última instancia que efecto tiene el tipo genético sobre los parámetros de procesamiento.

Los recursos identificados de arcillas caoliníticas reportados en nuestro país son limitados, calculados en el orden de las 57,4 MMt, con la mayor parte de los depósitos de este tipo ubicados en la Isla de la Juventud<sup>12</sup>. Los principales usos comerciales de este material están en la fabricación de artículos para la cerámica fina, refractaria y cerámica especial, cosméticos y en la industria del cemento para la producción de cemento blanco<sup>19</sup>. Sin embargo, existen reportados numerosos puntos de interés y manifestaciones de arcillas con diferentes contenidos de caolinita y presencia de otros minerales arcillosos que poseen perspectivas de ser empleados como fuente de arcillas calcinadas, pero cuyos recursos no han sido calculados de manera apropiada para este uso, pues no se reportan estudios al respecto<sup>20</sup>.

De aquí se desprende la necesidad de elevar el grado de conocimiento existente sobre los depósitos de arcillas cubanos con moderados y altos contenidos de caolinita y la evaluación de sus potencialidades como fuente de materias primas para la obtención de materiales puzolánicos a escala industrial. A su vez, dada la relativa abundancia de los depósitos arcillosos y su elevada heterogeneidad en cuanto a su composición químico-mineralógica, se requiere del desarrollo de herramientas que permita la selección de los depósitos con las mejores potencialidades para ser empleados como fuente de materiales cementicios suplementarios.

El metacaolín producido a partir de la calcinación de arcillas con alto contenido de caolinita y bajo niveles de impurezas, denominadas comúnmente como caolines industriales, ha constituido otra de las alternativas valoradas como MCS a escala industrial, con prestaciones similares o superiores a las del humo de sílice, las cenizas volantes y la mayoría de las puzolanas naturales. Sin embargo, su uso a gran escala se ve limitado por la baja disponibilidad de yacimientos de alta pureza y la competencia con industrias ya establecidas durante muchos años como la cerámica y el papel, que también utilizan los depósitos de arcillas caoliníticas de alta pureza como fuente de materias primas. Estos aspectos también se aplican al caso de nuestro país. La producción anual de metacaolín se estima en aproximadamente 2 millones de toneladas, volumen insuficiente para garantizar grandes producciones de cemento donde se emplee este como MCS, incluso para bajos volúmenes de sustitución de clínquer en el aglomerante. De los 37 millones de toneladas de caolín producido en 2016, menos del 5 % se destinó a la producción de metacaolín como MCS. En Cuba, como promedio en los últimos cinco años solo se producen 2,76 Mt de caolín anualmente, dedicado casi en su totalidad a la industria cerámica y de refractarios. Alternativamente, investigaciones recientes han demostrado la posibilidad de obtener a partir de arcillas con solo un 40 % de caolinita un material reactivo con un comportamiento similar al metacaolín comercial, que permite sustituciones de hasta un 30 % en peso de Cemento Portland en el aglomerante (Figura 6). Este tipo de depósitos arcillosos, con contenidos moderados de arcillas caoliníticas, son muy abundantes en las zonas tropicales y subtropicales donde se concentra la demanda de materiales cementicios y donde sus recursos deben exceder los miles de millones de toneladas. Es por ello que se considera de manera general que las arcillas calcinadas constituyen el grupo de MCS con mayores potencialidades en los próximos años. Ante este escenario, es de vital importancia potenciar el desarrollo de investigaciones destinadas a desarrollar nuevas fuentes de materiales puzolánicos, que permitan la producción de aglomerantes en cantidades suficientes y a un costo asequible desde el punto de vista económico, energético y medioambiental. Especial atención debe prestarse a la revalorización y empleo de las fuentes de materiales localmente disponibles, en particular, aquellas que permitan su utilización como fuente de materiales puzolánicos<sup>14</sup>.

El estudio de las arcillas calcinadas como fuente de MCS en la industria del cemento se ha incrementado en los últimos años, basado en sus favorables propiedades tecnológicas, reducción de los costos del cemento y del impacto negativo sobre el medio ambiente. Las formas más comunes para lograr un incremento sustancial de la reactividad incluyen la molienda prolongada, la calcinación, el curado a elevadas temperaturas y la activación por medio de soluciones alcalinas, dentro de los cuales, la calcinación o activación térmica es la forma más común y efectiva para modificar la estructura cristalina de las arcillas y alcanzar el máximo potencial de reactividad puzolánica.

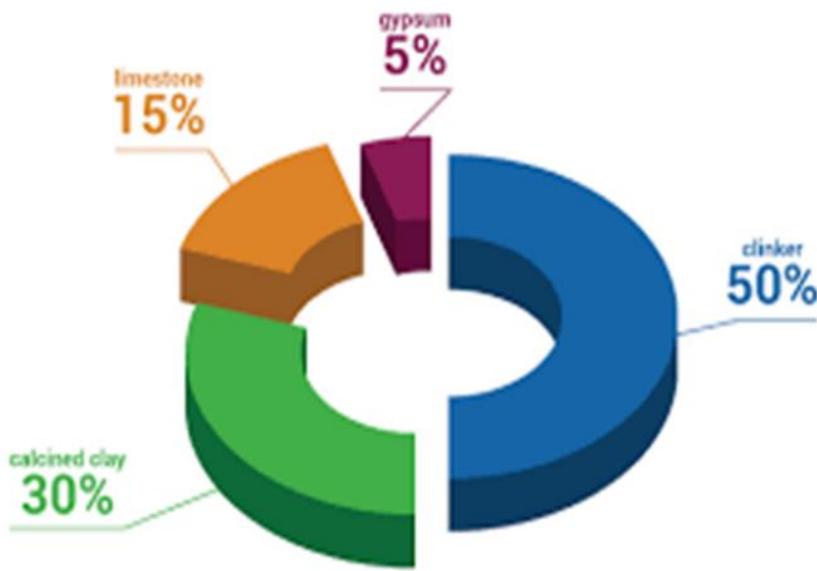


Figura 6. Formulación del cemento de bajo carbono

El estudio de las arcillas calcinadas como fuente de MCS en la industria del cemento se ha incrementado en los últimos años, basado en sus favorables propiedades tecnológicas, reducción de los costos del cemento y del impacto negativo sobre el medio ambiente. Las formas más comunes para lograr un incremento sustancial de la reactividad incluyen la molienda prolongada, la calcinación, el curado a elevadas temperaturas y la activación por medio de soluciones alcalinas, dentro de los cuales, la calcinación o activación térmica es la forma más común y efectiva para modificar la estructura cristalina de las arcillas y alcanzar el máximo potencial de reactividad puzolánica.

Las investigaciones sobre el tema de las arcillas calcinadas como fuentes puzolánicas, se han dirigido a diferentes puntos de análisis, siendo las temperaturas de activación y el contenido de caolín, quizás, los más importantes y los mejor estudiados.

Una parte considerable de los estudios se ha centrado en la evaluación de arcillas de alta pureza con contenidos minerales apreciables del grupo de caolín, y solo en los últimos años se han estado desarrollando trabajos dirigidos a arcillas con un contenido de minerales del grupo del caolín relativamente bajo, que generalmente hace que este tipo de depósito sea inutilizable por las industrias establecidas, como papel y cerámica blanca.

En estas investigaciones, se presta especial atención al contenido minerales del grupo de caolín, montmorillonita e illitas, así como a un pequeño grupo de minerales acompañantes, que son térmicamente activos en el rango de deshidroxilación de la caolinita. Del mismo modo, se pone especial énfasis en la temperatura óptima de activación para obtener una puzolana altamente reactiva. En este sentido, se puede decir que, la mayoría de los autores citados consideran, independientemente del tipo de arcilla, los 800 ° C como temperatura imponerable, teniendo en cuenta que el rango entre 600 y 900 ° C se ha definido como el intervalo de activación térmica más favorable. Sin embargo, se debe decir que, en todas estas investigaciones se realiza un análisis muy superficial de las condiciones geológicas de formación de los diferentes depósitos de arcillas, así como su estrecho vínculo con el tipo de mineral arcilloso y los minerales acompañantes, y en última instancia que efecto tiene el tipo genético sobre los parámetros de procesamiento.

Los recursos identificados de arcillas caoliníticas reportados en nuestro país son limitados, calculados en el orden de las 57,4 MMt, con la mayor parte de los depósitos de este tipo ubicados en la Isla de la Juventud<sup>12</sup>. Los principales usos comerciales de este material están en la fabricación de artículos para la cerámica fina, refractaria y cerámica especial, cosméticos y en la industria del cemento para la producción de cemento blanco<sup>19</sup>. Sin embargo, existen reportados numerosos puntos de interés y manifestaciones de arcillas con diferentes contenidos de caolinita y presencia de otros minerales arcillosos que poseen perspectivas de ser empleados como fuente de arcillas calcinadas, pero cuyos recursos no han sido calculados de manera apropiada para este uso, pues no se reportan estudios al respecto<sup>20</sup>.

De aquí se desprende la necesidad de elevar el grado de conocimiento existente sobre los depósitos de arcillas cubanos con moderados y altos contenidos de caolinita y la evaluación de sus potencialidades como fuente de materias primas para la obtención de materiales puzolánicos a escala industrial. A su vez, dada la relativa abundancia de los depósitos arcillosos y su elevada heterogeneidad en cuanto a su composición químico-mineralógica, se requiere del desarrollo de herramientas que permita la selección de los depósitos con las mejores potencialidades para ser empleados como fuente de materiales cementicios suplementarios.

La presente investigación se enmarca dentro del subproyecto 1 del proyecto Low Carbon Cement financiado por la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación COSUDE, con la participación de instituciones de la Confederación Suiza (Suiza), La República Federal Alemana, la República de Cuba y la República de la India y que persigue el establecimiento de los cementos LC3 como aglomerantes de uso general en el mercado. Este subproyecto tiene como objetivo identificar las fuentes de materias primas para la producción de este tipo de cementos y también proveer protocolos de evaluación para su selección apropiada.

### 3.3. Un análisis desde los CTS

Para un detallado análisis de las variables implicadas en la investigación se diseñó el diagrama de objetivos (Figura 7). Los análisis siguientes permiten una visión en el ámbito industrial, dado que no deja de ser otro campo de trabajo donde se juntan tecnología y sociedad. A decir de Rubio García y López Cerezo, 2009 los ingenieros tradicionalmente han tratado de ignorar las relaciones existentes entre ambas, al considerar los procesos industriales. En este trabajo, se parte de la idea de mostrar una imagen más social de la tecnología, dado el hecho de la repercusión social que tiene la aplicación de esta industria a nivel nacional, teniendo en cuenta los fenómenos de la generación de empleos en industrias ecológicas, la reutilización de desechos mineros y el nuevo valor agregado que obtienen los territorios donde se enmarcan los depósitos arcillosos.

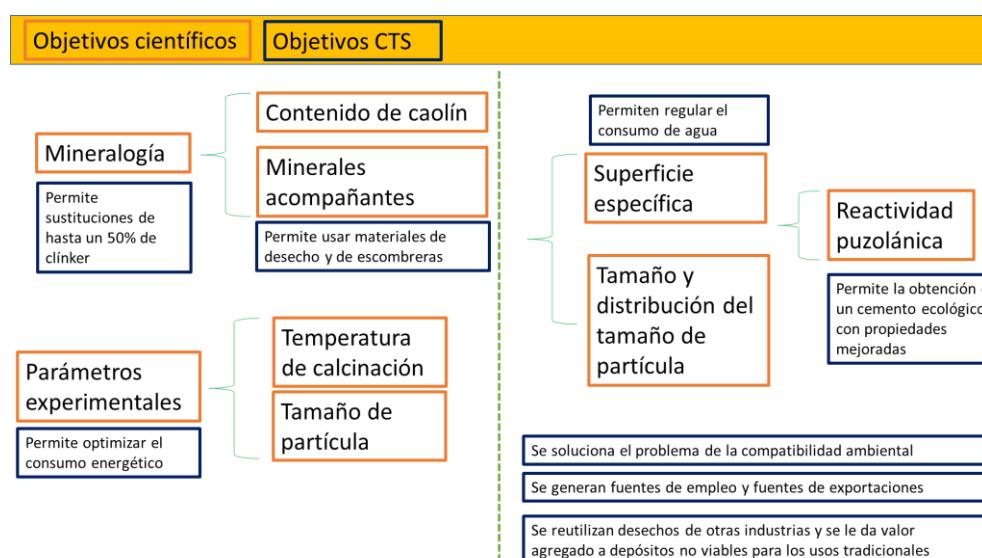


Figura 7. Diagrama de objetivos

Podemos asumir que la producción de cementos LC3 en Cuba se toma como un nuevo paradigma dentro de la fabricación de cemento, al basarnos en lo expuesto por Kühn, 2002 en su libro La estructura de las revoluciones científicas.

Aprender a valorar las implicaciones de la ciencia, al decir de Gutiérrez Rodilla, 1973 porque sus resultados influyen extraordinariamente en nuestra manera de estar en el mundo; y en la de valorarlo y comprenderlo. La tecnología LC3 se presenta como una alternativa a décadas de fabricación de cementos en una industria altamente contaminante, que tiene un impacto ambiental considerable. La novedad del LC3 no solo radica en su potencial medioambiental, sino que además reduce los costos de producción por la factibilidad de los materiales y su resistencia puede compararse a la de cementos no mezclados como el Portland a pesar de tener un 50 por ciento menos de clínquer.

A pesar de los resultados probados del LC3, el nuevo material mantiene como uno de sus retos la conquista de la industria cubana y mundial para su producción a escala comercial, fase que comienza sus primeros pasos en la mayor de las Antillas. Con la vista puesta en su entrada a los principales mercados, los expertos insisten en las tres ventajas fundamentales de la mezcla: menos costo, emisiones de carbono más bajas y mayor resistencia. Esto último es especialmente importante si tenemos en cuenta que en definitiva según lo expresado por Bárcenas, 2018 la ciencia se manifiesta a partir de sus representantes sociales.

Teniendo en cuenta que existe un antes y un después del proceso de calcinación, se establecen dos variables de entrada al horno, una, con lo referente a la mineralogía del depósito de arcilla, que comprende tanto los minerales arcillosos como los minerales acompañantes; y el diseño del experimento, o sea, las variables experimentales.

El análisis de estas dos variables permite realizar un análisis por tipo genético de arcilla de la temperatura óptima de calcinación, y esto se traduce en ahorro de energía. Por otro lado, la visión mineralógica permite establecer las variables de entrada optima en dependencia de la génesis del depósito y esto permite utilizar un amplio espectro de arcillas que no son hoy consideradas como reservas de las principales industrias del caolín, dígase papel, pinturas, gomas, etc.

Esta misma óptica permite utilizar no solo depósitos naturalmente formados, consiente además incluir materiales de desecho con una mineralogía similar al proceso. Esto da al traste con el aprovechamiento de lodos de perforación, escombreras, material de desbroce, que son considerados como pasivos mineros por la ley de minas vigente en Cuba.

Por otro lado, existen dos variables a la salida de horno que también pueden ser modificadas a voluntad para obtener determinados beneficios.

Las variaciones de superficie específica permiten tener un control sobre la velocidad de hidratación del cemento y la demanda de agua del mismo, siendo este último aspecto una de las grandes preocupaciones del sector industrial del cemento.

Finalmente, la reactividad puzolánica permite el análisis de los tipos de cementos obtenidos, fundamentalmente desde la perspectiva de la resistencia a la compresión mecánica. En todos los casos los resultados obtenidos son superiores a las actuales normas.

Los cementos a base de arcillas calcinadas además incorporan una serie de ventajas como son la resistencia a las condiciones costeras y las resistencias a la carbonatación que ocurre en las ciudades con elevados niveles de contaminación atmosférica. Hay que tener en cuenta que Cuba lleva a cabo un importante proceso inversionista en hoteles e instalaciones turísticas en las líneas costeras.

La puesta en marcha de este tipo de tecnología acarrea una inyección directa a la producción local de materiales para la construcción, destinados fundamentalmente al Programa de la Vivienda, pues el Estado cubano ha destinado recientemente un crédito de alrededor de 6 millones de euros para la adquisición de 20 plantas que serán instaladas en diferentes zonas del país a muy corto y mediano plazo hasta el mes de abril de 2021, en dependencia de las áreas con disponibilidad de materias primas certificadas por la Empresa Geominera del Centro perteneciente al Ministerio de Energía y Minas.

El cemento de bajo carbono LC3 es una combinación de clínquer (cemento Portland) con arcilla calcinada y caliza; una formulación en la que se puede reducir el clínquer, principal componente que aporta el cemento en términos de consumo energético. Esto significa que, de implantarse a nivel mundial, el nivel de reducciones de emisión de dióxido de carbono que puede lograrse en la industria del cemento, que tiene un aporte actual del 8% de las emisiones globales. Para Cuba esto representa insertarse en un mercado de cemento muy competitivo, pero con una novedosa tecnología ecológica.

Un aspecto importante de esta investigación es el hecho dedicar tiempo a crear una cierta *cultura puzolánica* en la población. Para ello se dedican cuantiosos esfuerzos en llevar hasta nivel del consumidor las ventajas de este tipo de material. Lo anterior parte de lo expresado por Lázaro Olaizola, 2009 y es que, la cultura científica y la participación ciudadana, en asociación con las diferentes concepciones acerca de cómo la ciencia debe llegar a la sociedad, cómo la sociedad debe entender la ciencia y en qué medida le corresponde involucrarse con ella, siguen siendo términos de difícil entendimiento.

Por otro lado, uno de los problemas socioeconómicos más acuciantes de Cuba en la actualidad lo constituye el déficit habitacional existente. Es por ello que la rama constructiva se encuentra entre los sectores priorizados del país, lo que ha derivado en un conjunto de políticas y estrategias gubernamentales, sectoriales y empresariales, en aras de desatar las fuerzas productivas en la industria de materiales de construcción y, con ello, acelerar la construcción de viviendas. El desarrollo de nuevos productos que impacten favorablemente en el sector constructivo ha sido parte de la acción científica en los últimos dos lustros<sup>26</sup>. Es precisamente en ese contexto donde se enmarca el cemento de bajo carbono.

#### 4. Conclusiones

- Con la utilización de arcillas térmicamente activadas como sustituto del clínquer se obtiene un cemento ecológico que reduce al 50% las emisiones de dióxido de carbono, lo que presenta una oportunidad viable para mitigar los impactos de una de las industrias más contaminantes del planeta mitigando el tabú de que los ingenieros tradicionalmente han tratado de ignorar las relaciones existentes entre tecnología y sociedad, al considerar los procesos industriales como lo fundamental.
- El estudio de las variables de entrada y salida del horno permite regular parámetros que redundan en la optimización del uso de la energía y el agua que demanda la industria, aprendiendo de esta forma, a valorar las implicaciones de la ciencia porque sus resultados, porque influyen extraordinariamente en nuestra manera de estar en el mundo; y en la de valorarlo y comprenderlo.

- Un aspecto importante de esta investigación es el hecho dedicar tiempo a crear una cierta *cultura puzolánica* en la población. Para ello se dedican cuantiosos esfuerzos en llevar hasta nivel del consumidor las ventajas de este tipo de material, partiendo de que la cultura científica y la participación ciudadana, en asociación con las diferentes concepciones acerca de cómo la ciencia debe llegar a la sociedad, cómo la sociedad debe entender la ciencia y en qué medida le corresponde involucrarse con ella, siguen siendo términos de difícil entendimiento.
- Surge una posibilidad de desarrollar industrias ecológicas, generadoras de empleo y amigables con el medio ambiente.

### Bibliografía

1. Díaz Cannel Bermúdez, M. M. (2011). *Sistema de gestión de gobierno basado en ciencia e innovación para el desarrollo sostenible en Cuba*. Universidad Central de las Villas.
2. Montero Peña, J. M. (2014). La utopía del desarrollo sustentable en condiciones de subdesarrollo Yaniel Salazar Pérez Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos." *Temas de Economía Mundial*, 145.
3. UNESCO. (2021). *Desarrollo Sostenible* || UNESCO. <https://web.archive.org/web/20110601212737/http://www.unesco.org/es/higher-education/reform/sustainable-development>
4. Montero Matos, J. (2017). Cierre sostenible de canteras de materiales de construcción en Cuba. In *Вестник Розздравнадзора*. Universidad de Moa.
5. Martín Gordillo, M. (2017). *El enfoque CTS en la enseñanza de la ciencia y la tecnología*. [www.conacyt.gov.py](http://www.conacyt.gov.py)
6. Fernández Enguita, M. (2016). *La educación en la encrucijada*. Fundación Santillana.
7. Núñez Jover, J. (2020). *La ciencia y la tecnología como procesos sociales. Lo que la educación científica no debería olvidar*. Sala de lectura CTS+I. La Ciencia y La Tecnología Como Procesos Sociales. Lo Que La Educación Científica No Debería Olvidar. <https://www.oei.es/historico/salactsi/nunez07.htm>
8. Herrera, A. O. (1994). *Las nuevas tecnologías y el futuro de América Latina: riesgo y oportunidad*. Siglo XXI.
9. Echeverría, J. (1989). Metodología de la ciencia. *Barcelona: Barcanova*.
10. Puentes Aibar, E. (1996). Sociología de la ciencia y la tecnología (Book Review). *Arbor*, 153(601), 128.
11. Manassero Mas, M. A., Vasquez Alonso, Á., & Acevedo Diaz, J. (2001). La evaluación de las actitudes CTS. *Organización de Estados Iberoamericanos*, 19(October).
12. Almenares Reyes, R. S. (2017). *Potencialidades de arcillas caoliníticas cubanas para la obtención de materiales cementicios suplementarios*. Universidad Central "Martha Abreu" de las Villas.
13. Martirena Hernández, J. F. (2013). *Desarrollo y producción industrial de un cemento de bajo carbono en Cuba*.
14. Alujas Díaz, A. (2010). *Obtención de un material puzolánico de alta reactividad a partir de la activación térmica de una fracción arcillosa multicompONENTe*. Universidad Central "Martha Abreu" de las Villas.
15. Sabir, B. B., Wild, S., & Bai, J. (2001). *Metakaolin and calcined clays as pozzolans for concrete : a review*. 23.
16. Habert, G., Choupay, N., Escadeillas, G., Guillaume, D., & Montel, J. M. (2009). Applied Clay Science Clay content of argillites : Influence on cement based mortars. *Applied Clay Science*, 43(3–4), 322–330. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2008.09.009>
17. Scrivener, K. L., & Aurelie, F. (2015). Calcined Clays for Sustainable Concrete. In K. L. Scrivener & A. Favier (Eds.), *RILEM Bookseries* (Vol. 10). [https://doi.org/10.1007/978-94-017-9939-3\\_43](https://doi.org/10.1007/978-94-017-9939-3_43)
18. Chakchouk, A., Samet, B., & Mnif, T. (2006). *Study on the potential use of Tunisian clays as pozzolanic material*. 33, 79–88. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2006.03.009>
19. Batista, R., Coutin, D., Jordán, R., & Gallo, R. (2009). Valoración del potencial de los recursos minerales para la industria del cemento en cuba. In *III Convención Cubana de Ciencias de la Tierra-Geociencias* (pp. 484–510).

20. Almenares, R. S., Vizcaíno, L. M., Damas, S., Mathieu, A., Alujas, A., & Martirena, F. (2017). Industrial calcination of kaolinitic clays to make reactive pozzolans. *Case Studies in Construction Materials*, 6. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2017.03.005>
21. Rubio García, R., & López Cerezo, J. A. (2009). *El enfoque social de la tecnología en el diseño industrial*. 84, 1–14.
22. Kühn, T. (2002). La estructura de las revoluciones científicas. *Revista de Filosofía de La Universidad de Costa Rica*, 40(101), 179–190.
23. Gutiérrez Rodilla, B. (1973). El lenguaje de las ciencias. I. *Revista Medica de Chile*, 101(7), 565–571.
24. Bárcenas, G. (2018). *Hacia una Psicología Social de la Ciencia a través de sus Representaciones Sociales*. August.
25. Lázaro Olaizola, M. L. (2009). *Cultura científica y participación ciudadana en política socio-ambiental*. 554.
26. Cancio Díaz, Y., Sánchez Berriel, S., Sánchez Machado, J., & Martirena, J. F. (2019). *Eco-eficiencia en cadenas productivas de viviendas en Cuba. Estudio de caso: Cemento de bajo carbono (LC3:50)*. 1–15.

## 4. Salinity gradient energy: concept and extractable potential

Óscar Álvarez Silva

*Department of Physics and Geosciences.*

*Universidad del Norte Km5 via Puerto Colombia, Barranquilla, Colombia*

[oalvarezs@uninorte.edu.co](mailto:oalvarezs@uninorte.edu.co)

### What is salinity gradient energy?

When two waters with different salt concentration get in contact, a release of free energy occurs driven by the difference in the chemical potential between both [1, 2]. If the mixing is controlled, the chemical potential can be used to generate electricity [3]. Various technologies have been proposed for harnessing SGE [4,5], but two of them are in higher stages of development: pressure retarded osmosis (PRO) [2] and reverse electrodialysis (RED) [6]. Both technologies are based on semi-permeable membranes that use the chemical potential difference between concentrated and diluted solutions to produce transport of the solvent or solutes across the membranes.

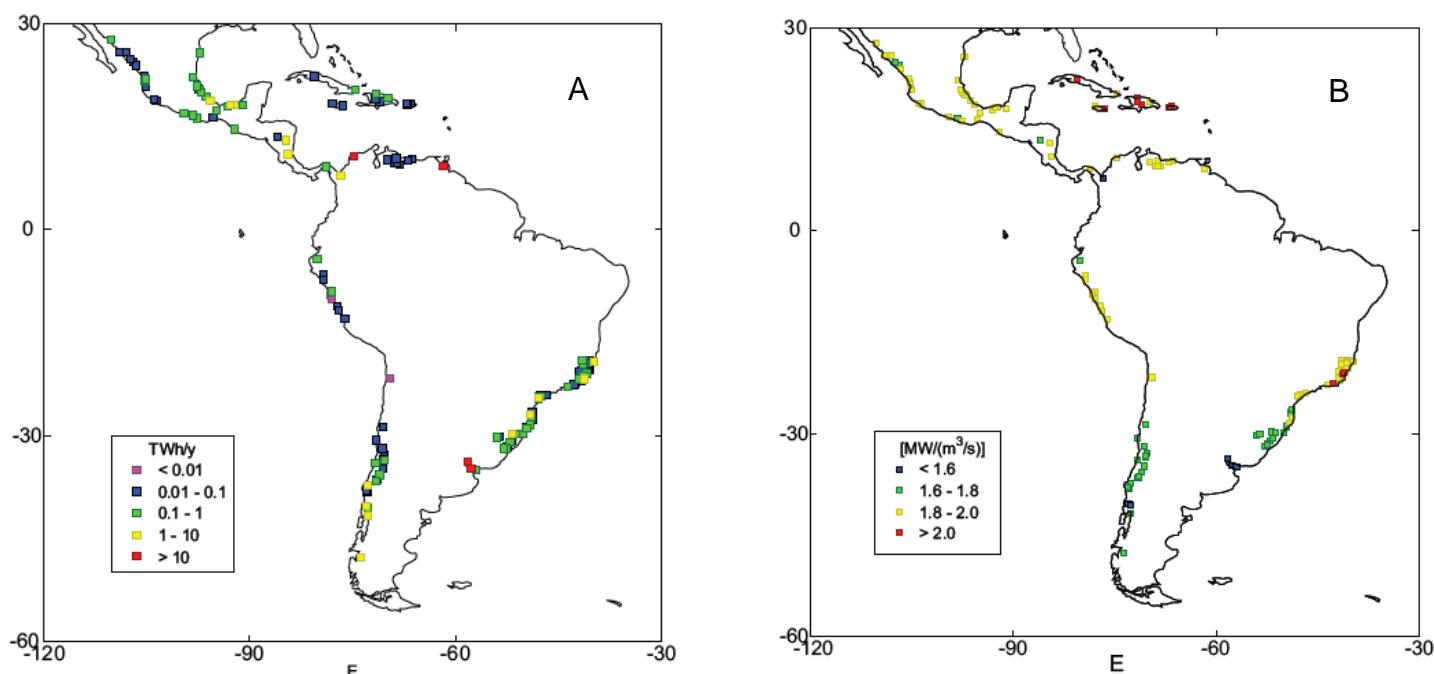
### Where can be generate?

Several natural and artificial systems offer water resources with salinity difference, but river mouths, where freshwater from the land drainage mixes with the oceans, are the most commonly found. The SGE from mixing river water and seawater is completely clean, as this mixture is part of the natural water cycle, and its exploitation does not produce effluents or pollutants that may interfere with the local environment or global climate. Additionally, SGE generation at river mouths could be non-periodic, unlike wind, waves or solar power [4]. River mouths are globally distributed, in most of the cases are located in the vicinity of cities or industrial zones, and provide the sought salinity gradients [7].

### The potential in the world and in Latin America

A recent assessment of the global extractable SGE resources at river mouths carried out by Alvarez-Silva et al. [8], considering the suitability, reliability, and sustainability of its exploitation, estimated that 625 TWh/y of SGE can be extracted from nearly 450 suitable river mouths from all over the world. This is about 3% of the electricity consumption worldwide and it is equivalent to electricity demand of Germany. Data for estimating the energy potentials were obtained from the following sources: Salinity from Aquarius v3.0 (NASA) and SMOS (University of Hamburg) satellite missions (monthly averages for 2012); temperature from NOAA\_OI\_SST\_V2 monthly mean climatology for the period 1971 – 2000; monthly mean river discharges from Dai et al., 2009. J Clim. Database; and tides from FES2012 model (<http://www.aviso.altimetry.fr/>).

The results also show that 134 TWh/a of SGE are extractable from the mouths of Latin America and the Caribbean islands (Fig. 1). This amount of renewable energy is higher than the electricity consumption of most of the countries in the region, with the exception of Brazil and Mexico. The mouths of the Orinoco, Paraná, Magdalena and Uruguay rivers are in the top 10 of the systems with highest SGE potential in the world, and the Jucai (BR), Usumacinta (MX) and Atrato (CO) rivers are among the top 20, however, river mouth with suitable conditions for SGE generation can be found all along the continent (Fig. 1A). Additionally, the Caribbean Sea and the Gulf of Mexico are (along with the Mediterranean Sea) the ocean basins where more SGE can be generated per cubic meter of fresh water used for generation (Fig. 1B).



A) Maps of extractive energy potential and B) energy density for the Latin American river mouths with an average tidal range lower than 1.3 m.

The Latin American continent is a manifest region for the development of SGE research and exploitation. Bringing SGE to a commercially competitive stage will still be technologically and politically challenging, however, its development is feasible and is gaining momentum. Sustaining this trend depends on the joint effort of scientist, engineers, and decision makers.

### References

- G. Z. Ramon, B. J. Feinberg, E. M. V. Hoek, Membrane-based production of salinity-gradient power. *Energy Environ. Sci.* 4, 4423–34 (2011).
- F. Helfer, C. Lemckert, Y. G. Anissimov, Osmotic power with Pressure Retarded Osmosis: theory, performance and trends—a review. *J. Memb. Sci.* 453, 337–358 (2014).
- J. Kuleszo, C. Kroeze, J. Post, B. M. Fekete, The potential of blue energy for reducing emissions of CO<sub>2</sub> and non-CO<sub>2</sub> greenhouse gases. *J. Integr. Environ. Sci.* 7, 89–96 (2010).
- A. Jones, W. Finley, Recent development in salinity gradient power. *OCEANS 2003 Proceedings* 4, 2284–2287 (2003).
- D.A. Vermaas, M. Saakes, K. Nijmeijer, Doubled power density from salinity gradients at reduced intermembrane distance, *Environ. Sci. Technol.* 45, 7089–95 (2011).
- D.A. Vermaas, Energy generation from mixing salt water and fresh water, PhD Thesis, University of Twente, (2013).
- J. D. Isaacs, R. J. Seymour, The ocean as a power resource. *Int. J. Environ. Stud.* 4, 201–205 (1973).
- O. A. Alvarez-Silva, A. F. Osorio, C. Winter, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 60, 1387–1395 (2016).

### 5. Dating Colombian emeralds: New in situ U-Pb age in carbonates (calcite)

Yamirka Rojas-Agramonte<sup>1,2</sup>, Tobias Häger<sup>2</sup>, Axel Gerdes<sup>3</sup>, María Alejandra González Pinzón<sup>4</sup>, Yamirka Rojas-Agramonte  
Felipe Charris<sup>4</sup>, Uwe Altenberger<sup>5</sup>, Juan David Villalobos Balser<sup>6</sup>, Catalina González Arango<sup>7</sup>,

<sup>1</sup> Institut für Geowissenschaften, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Ludewig-Meyn-Straße 10, 24118 Kiel, Germany

<sup>2</sup> Institut für Geowissenschaften, Johannes-Gutenberg-Universität, Becherweg 21 D-55099 Mainz, Germany

<sup>3</sup> Institut für Geowissenschaften, Goethe-Universität Frankfurt, Altenhöferallee 1 60438 Frankfurt, Germany<sup>2</sup> Institut

<sup>4</sup> Natural Colombia Mineral SAS, Bogotá, Colombia

<sup>5</sup> Institute of Geosciences, University of Potsdam, Karl-Liebknecht Str. 24-25, House 27, 14476 Potsdam-Golm, Germany

<sup>6</sup> Black & Veatch, Miami, United States of America

<sup>7</sup> Department of Biological Sciences, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia

[yamirka.rojas@ifg.uni-kiel.de](mailto:yamirka.rojas@ifg.uni-kiel.de), [haeger@uni-mainz.de](mailto:haeger@uni-mainz.de), [gerdes@em.uni-frankfurt.de](mailto:gerdes@em.uni-frankfurt.de), [Geociencias@ncm.com.co](mailto:Geociencias@ncm.com.co),  
[uwe@geo.uni-potsdam.de](mailto:uwe@geo.uni-potsdam.de), [Villalobosbalserjd@bv.com](mailto:Villalobosbalserjd@bv.com), [c.gonzalez2579@uniandes.edu.co](mailto:c.gonzalez2579@uniandes.edu.co)

#### Abstract

In the present contribution we report preliminary results of a pilot project on U-Pb dating of low-U phases/assemblages (calcite). Our sample come from the Chivor belt (Eastern Cordillera of Colombia) formed in paragenesis with the emeralds. Therefore, we assume that both calcite and emerald crystallized simultaneously. The new age ( $3.48 \pm 0.25$  Ma) demonstrates that precise U-Pb ages can be obtained from low-U phases/assemblages (~0.2 to 3 ppm) but place new questions on the age of emerald mineralization in Colombia.

#### Introduction and geological setting

Colombian emeralds are not only beautiful and prized but also unique. These exceptional green crystals are found in mostly carbonatic and partly albitized veins in the black shales of the eastern Cordillera of Colombia (e.g., Häger et al., 2020; Cheillett & Giuliani 1996, Schwarz 1991; see Fig. 1). In contrast, most emerald deposits in the world are associated to magmatic processes.

The Eastern Cordillera is divided into the eastern emerald belt around Chivor and the western belt around Muzo (Fig. 1). The emeralds in the Chivor region are the older ones and were formed about 65 million years ago (Giuliani et al., 2000), during a stretching phase of the Eastern Cordillera. The emeralds of the western belt around Muzo crystallized about 38 – 30 million years ago (Branquet 1999; Cheillett et al., 1994). Both emerald belts were then exhumed in the Middle Miocene (~12-16 million years; Fortaleche, 2017).

The sedimentation of the black shales is characterized by oxygen-poor (euxinic) conditions and were deposited in the marine foreland of the continent during the lower Cretaceous (~100-140 million years; Giuliani et al., 1995). The low-grade metamorphic black shales consist of clay minerals, carbonates, and the black coloring carbon compounds as well as sulfides (Fig. 2A). During the orogeny process the sediments in both regions have been diagenetically consolidated, tectonically stressed, the essential components of the emerald (beryllium, aluminum, silicon, chromium and vanadium) have been dissolved out of the black shale by circulating mesothermal ( $T=175-300^\circ\text{C}$ ) high saline waters. The emeralds then crystallized mostly in calcite -dominated carbonate veins (fig. 2B). One sample of calcite collected from a carbonate vein in La Fortuna Mine (N:04°48'52", W:73°22'24") near Chivor (fig. 1) have been dated using the in-situ laser ablation U-Pb method.

Carbonates form in a very wide variety of geological environments including caves, soils, oceans, during burial by hydrothermal fluids and along faults. Carbonate U-Pb dating is applicable to almost the entire geologic time scale although most carbonates have extremely low U contents. However, hydrothermal carbonates often have significant U concentrations that allow reliable data (see Grandia et al., 2000).

Sometimes carbonates associated with mineral deposits form from a fluid with elevated temperature and/or salinity and in some cases, multiple generations of carbonates are found associated with the mineral, representing a variety of fluid temperatures and salinities (Coveney et al., 2000). In addition, carbonates are highly susceptible to diagenesis. Therefore, we must understand, in general which samples are not altered and what controls the robustness of a system.

### Analytical procedure U-Pb in calcite

Uranium and lead isotopic ratios were measured in situ on thin sections (30-40 $\mu$ m thick) by LA-ICP-MS at the Goethe University of Frankfurt (GUF) using a method similar to that described in Gerdes and Zeh, 2006. The measurement was acquired using a Thermo-Scientific Element 2 ICP-MS, coupled to a RESOlution (Resonetics) 193 nm ArF Excimer laser (CompexPro 102, Coherent) equipped with a S-155 two-volume ablation cell (*Laurin Technic, Australia*).

Samples were screened before analysis to aim for the highest variability on the  $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$  by targeting domains with very low U containing mostly initial common Pb and ones with the highest possible radiogenic Pb component as result of the U decay. Analyses plotting along a linear array in the  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  vs  $^{208}\text{U}/^{206}\text{Pb}$  Tera-Wasserburg diagram formed together and the age is defined by the slope of the regression line and the lower intercept with the Concordia. The precision on that age directly depend on the variability of the  $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$ , the uncertainty on the isotope ratios and the overall statistical fit of the regression line.

### Results

Multiple spots ( $n = 73$ ) of standard ASH15D yielded a lower intercept age of  $3.04 \pm 0.09$  (MSWD = 0.81) and an upper intercept of  $0.873 \pm 0.006$  for the initial  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  (Fig. 3A). This is identical within uncertainty of the U/Pb age from two labs ( $3.085 \pm 0.044$  and  $3.005 \pm 0.026$  Ma) using the conventional U-Pb method. The data of Nama and ASH15D imply an accuracy and repeatability of the method of 1-2% providing the material has sufficient spread in the U/Pb. This is also supported by results of Godeau et al. (2018) where samples analysed in Frankfurt using the same method as described here agreed within uncertainty (+/-1%) with ID solution mode analysis. The analytical data are presented in Table 1 and are plotted in the Tera-Wasserburg diagram (Fig. 3B) and ages calculated as lower intercepts using Isoplot 3.71 ([www.Isoplot.com](http://www.Isoplot.com)). All uncertainties are reported at the 2-sigma level.

### Discussion and conclusions

Calcite can easily deform under low-temperature conditions and is therefore open for an isotopic re-equilibration. Dissolution precipitation, intense intracrystalline plasticity, interface (twin and grain boundary) mobility as well as dynamic recrystallization, which could start at Temperatures of 150°C (Kennedy and White, 2001), can modify the chemical system. Since Colombian emeralds are found in low-grade metamorphic black shales, the calcite crystals might have been subject of a later, low temperature- and deformation-controlled, change which theoretically could reset the U-Pb system. Future work will determine if our dated mineral were subject to later, low temperature- and deformation-controlled – changes.

Nevertheless, considering the result of the present study it is evident that more work is needed to corroborate the time of emerald mineralization in Colombia. Assuming that our dated calcite crystalized in paragenesis with the emerald it places the question whether the mineralization has been a continuous process from Paleocene (60 Ma) to Pliocene ( $3.48 \pm 0.25$  Ma) or in pulses associated with tectonic events (Andean Orogeny). Our result might also indicate a genetic link to Upper Pliocene ( $5.61 \pm 0.12$  Ma), subvolcanic bodies and hydrothermal alterations located in the Quetame region ca. 60 Km SSW of Chivor, eastern Cordillera (Ujueta et al., 1990).

### References

- Branquet, Y., Laumonier, B., Cheillett, A., Giuliani, G. (1999) Emeralds in the Eastern Cordillera of Colombia: Two tectonic settings for one mineralization; *Geology*; Band 27, 597–600.
- Cheillett, A., Giuliani, G., (1996), The genesis of Colombian emeralds: a restatement; *Mineral. Deposita* 31, Springer-Verlag, (359-364)
- Cheillett, A., Féraud, G., Giuliani, G., Rodriguez, C.T. (1994) Time-Pressure and Temperature Constraints on the Formation of Colombian Emeralds: An  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  Laser Microprobe and Fluid Inclusion Study; *Economic Geology*, 89, 361–380.
- Coveney Jr, R. M., Ragan, V. M., & Brannon, J. C. (2000). Temporal benchmarks for modeling Phanerozoic flow of basinal brines and hydrocarbons in the southern Midcontinent based on radiometrically dated calcite. *Geology*, 28(9), 795-798.
- Fortaleché, D., Lucas, A., Muyal, J., Hsu, T., & Padua, P. (2017). The Colombian emerald industry: Winds of change. *The Quarterly Journal of the Gemological Institute of America*, .., 53(3), 332-358.
- Gerdes, A., & Zeh, A. (2006). Combined U–Pb and Hf isotope LA-(MC-) ICP-MS analyses of detrital zircons: comparison with SHRIMP and new constraints for the provenance and age of an Armorican metasediment in Central Germany. *Earth and Planetary Science Letters*, 249(1-2), 47-61.
- Giuliani G, France-Lanord C, Cheillett A, Coget P, Branquet Y, Laumonier B (2000) Sulfate reduction by organic matter in Colombian emerald deposits: Chemical and stable isotope (C, O, H) evidence. *Economic Geology*, 95(5): 1129–1153. Ottaway TL, Wicks FJ, Bryndzia LT, Kyser TK, Spooner ET (1994) Formation of the Muzo hydrothermal emerald deposit in Colombia. *Nature*, 369(16):552–554.
- Giuliani, G., Cheillett, A., Rueda, F., Féraud, G., France Lanord, C. (1995b) The genesis of Colombian emerald deposits: a unique example of beryllium mineralization developed in a black shale environment. In: Pasava, Kribek, Zak (eds.) *Mineral deposits*, Balkema, Rotterdam: pp. 943 946
- Godeau, N., Deschamps, P., Guihou, A., Leonide, P., Tendil, A., Gerdes, A., ... & Girard, J. P. (2018). U-Pb dating of calcite cement and diagenetic history in microporous carbonate reservoirs: Case of the Urgonian Limestone, France. *Geology*, 46(3), 247-250.
- Grandia, F., Asmerom, Y., Getty, S., Cardellach, E., & Canals, A. (2000). U–Pb dating of MVT ore-stage calcite: implications for fluid flow in a Mesozoic extensional basin from Iberian Peninsula. *Journal of Geochemical Exploration*, 69, 377-380.
- Häger T., Rojas-Agramonte, Y., Charris-Leal, F., Villalobos-Basler, J.D., Gonzales-Pinzon, M.A. & Hauzenberger, C. (2020): Smaragde aus Kolumbien. *Z.Dt. Gemmol. Ges.* 69, 47-5
- Kennedy, L., White, J.C. (2001): Low-temperature recrystallization in calcite: Mechanisms and consequences. *Geology* 29, 1027–1030. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(2001\)029<1027:LTRICM>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(2001)029<1027:LTRICM>2.0.CO;2).
- Ujueta, G., Macía, C., & Romero, F. (1990). Cuerpo Riodacítico del Terciario Superior en la Región de Quetame, Cundinamarca. *Geología Colombiana*, 17, 143-150.
- Schwarz, D. (1991). Australian emeralds. *Australian Gemmologist*, 17(12), 488-497.

### Figure captions

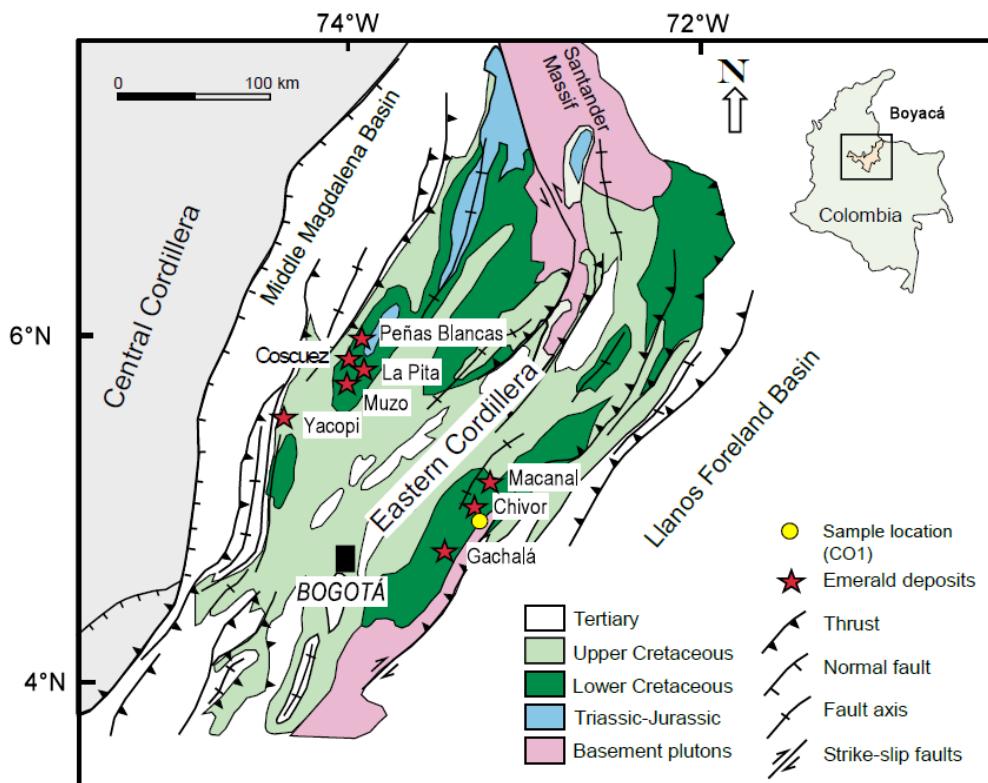


Figure 1. Geological map of northern central Colombia with emerald deposits and sample locality.

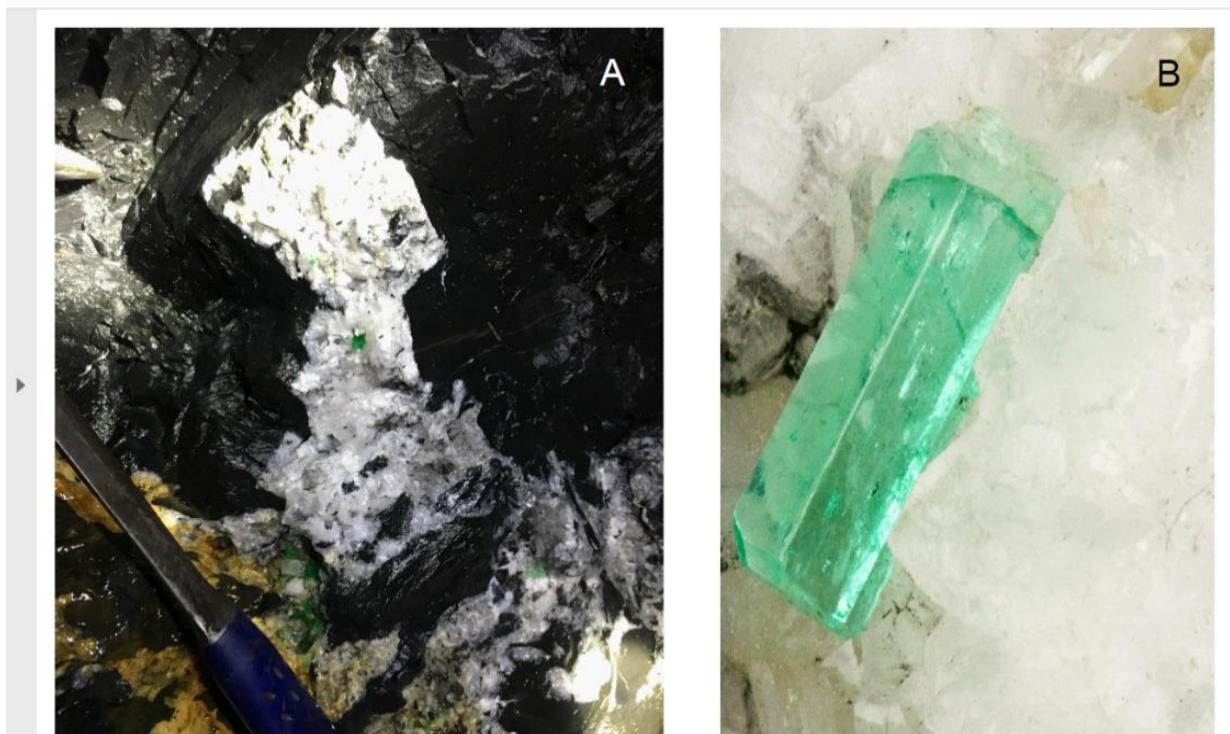


Figure 2. A) Colombian emeralds are found in veins, pockets and extensional breccias of carbonate, silicate and pyrite in a succession of early Cretaceous black shales. B) Photo of dated calcite vein with emerald from La Fortuna Mine (Chivor).

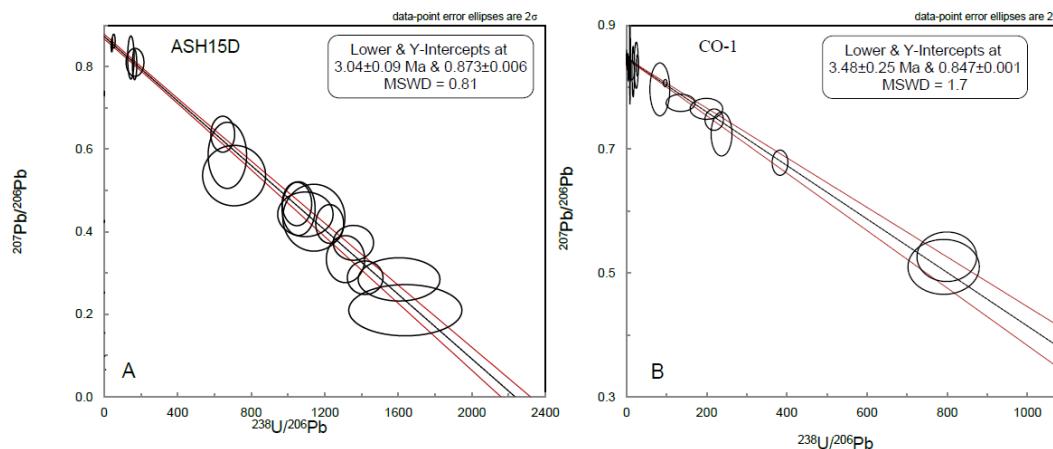


Figure 3. A) Concordia diagram of reference material ASH15D. B) Concordia diagram of dated calcite sample CO-1.

### Table captions

Table 1. LA-ICP-MS analytical data for spot analyses on calcite sample CO-1.

Table 1.												
	name / sample	207Pba (cps)	Ub (ppm)	Pbb (ppm)	Thb U	206Pbcc (%)	238U 206Pb	±2s (%)	207Pbd 235U	±2s (%)	207Pbd 206Pb	±2s (%)
<b>CO-1</b>												
CO1_1	135800	0.73	0.60	0.00	84.48	2.01	17.66	58.17	17.67	0.85	0.61	
CO1_2	1374155	1.20	6.63	0.02	0.00	0.30	25.73	384.42	25.74	0.85	0.62	
CO1_3	12435	0.21	0.06	0.01	94.47	5.86	5.19	19.53	5.43	0.83	1.60	
CO1_4	31858	0.47	0.15	0.00	93.91	5.16	29.67	22.34	29.70	0.84	1.36	
CO1_5	18182	0.37	0.08	0.00	95.45	7.37	6.78	15.60	6.88	0.83	1.17	
CO1_6	124530	0.22	0.58	0.00	44.86	0.63	29.12	184.61	29.13	0.84	0.82	
CO1_7	2721	0.08	0.01	0.31	83.18	8.59	10.00	13.62	12.40	0.85	7.34	
CO1_8	48407	14.21	0.24	0.00	93.95	96.61	3.82	1.15	3.87	0.81	0.59	
CO1_9	2674	0.10	0.01	0.53	89.28	16.65	13.72	6.83	14.31	0.83	4.07	
CO1_10	17257	12.76	0.10	0.00	89.85	199.34	16.70	0.53	16.80	0.77	1.80	
CO1_11	428193	0.16	2.08	0.00	0.00	0.13	5.61	883.44	5.64	0.85	0.52	
CO1_12	1505434	1.40	6.95	0.01	100.00	0.34	14.83	346.58	14.84	0.84	0.58	
CO1_13	4272	0.28	0.02	0.18	92.84	24.43	16.43	4.72	16.83	0.84	3.66	
CO1_14	3309471	21.67	15.27	0.00	88.45	2.38	9.53	49.20	9.54	0.85	0.39	
CO1_15	18997	0.25	0.10	0.00	90.92	4.27	13.49	26.78	13.63	0.83	1.95	
CO1_16	92452	0.39	0.42	0.00	78.72	1.55	16.46	74.42	16.49	0.84	0.96	
CO1_17	419441	16.51	2.04	0.00	92.85	13.40	40.55	8.51	40.58	0.83	1.52	
CO1_18	5166	4.16	0.03	0.01	86.89	236.96	9.00	0.42	9.85	0.72	4.00	
CO1_19	1995182	0.28	7.38	0.00	100.00	0.06	15.32	1807.96	15.32	0.85	0.35	
CO1_20	8827	2.29	0.04	0.01	90.14	83.29	24.32	1.32	24.71	0.80	4.40	
CO1_21	321144	1.84	2.38	0.01	72.83	1.29	36.74	90.33	36.74	0.85	0.70	
CO1_22	5435	7.15	0.03	0.01	82.40	382.83	4.20	0.24	4.87	0.68	2.46	
CO1_23	8015	5.55	0.04	0.00	87.46	218.55	8.61	0.47	8.81	0.75	1.89	
CO1_24	15814	1.51	0.09	0.01	96.95	27.11	8.42	4.25	8.58	0.84	1.65	
CO1_25	2048	8.77	0.02	0.00	69.74	798.81	7.62	0.09	9.83	0.53	6.21	
CO1_26	10975	0.33	0.05	0.00	88.61	10.16	10.57	11.22	10.69	0.83	1.62	
CO1_27	4894	23.28	0.04	0.00	69.00	791.01	9.19	0.09	11.62	0.51	7.11	
CO1_28	581544	4.78	3.48	0.00	86.79	2.29	13.69	50.86	13.70	0.85	0.41	
CO1_29	422001	7.26	2.42	0.00	93.51	5.02	19.17	23.21	19.18	0.85	0.43	
CO1_30	561226	0.82	3.21	0.02	5.21	0.43	14.92	271.99	14.92	0.85	0.50	
CO1_31	1987426	5.78	12.74	0.00	55.88	0.76	14.65	154.18	14.66	0.85	0.40	
CO1_32	383876	0.66	2.69	0.07	0.00	0.41	30.40	281.83	30.40	0.84	0.38	
CO1_33	13761	6.34	0.08	0.01	89.41	135.15	21.99	0.79	22.03	0.78	1.46	
CO1_34	1455513	8.03	8.57	0.00	80.81	1.57	17.25	74.48	17.26	0.85	0.33	
CO1_35	117852	0.06	0.69	0.62	0.00	0.14	10.71	826.73	10.77	0.85	1.16	
CO1_36	265707	3.30	1.58	0.01	91.52	3.50	10.86	33.44	10.88	0.85	0.57	

## 6. Scientific affidavit and communication: An exercise

*Igor Ishi Rubio Cisneros*

*Senior-Expert Geology Interpreter, Invited Researcher and Extension Specialist in Science at Secretaría de Extensión y Cultura, Universidad Autónoma de Nuevo León, Colegio Civil Centro Cultural Universitario s/n, 64000, Monterrey, Nuevo León, México*

*[igor\\_rubio@yahoo.com](mailto:igor_rubio@yahoo.com)*

Earth and Planetary Science are atop in search throughout media and a hot topic in national affairs. Recently, geoscience has gained demand after being considered a crisis-driven science with more than maps and atlas (Rubio-Cisneros, 2018). Geologist engineers and related natural science professionals procure facts to prepare for life and survival (Bassett, 2000). In cooperation with authorities, scientists are the foundation for understanding that natural and induced factors contribute to increased social and environmental vulnerabilities (Khatri, 2022).

The higher management fronts keep gathering to reconcile with Nature, deciding the United Nations-Sustainable Development Goals for the year 2030. These ambitious UN-SDGs lie over restless lobby negotiations during unpredictable Earth conditions. The spokespeople choose to switch global temperatures, cut toxic emissions, and minimize carbon footprints using tax as capital exchange, pursuing nature-based solutions worldwide. While industry claims to sequester and capture carbon and water farther beyond a healthier ecosystem, urban societies and rural communities counteract with earthworks and agroecological solutions (World Economic Forum: The Global Risk Reports).

The geosphere, biosphere, atmosphere, and exoplanetary weather and debris are planetary boundaries to framework the environmental conditions for a safe operating cycle of life on Earth. Water, soil, air, and natural resources, distributed on the Earth and outer space are subjects of matter under threat. Now researchers have explored each boundary in more detail and their role in ensuring the spheres' circulation (Steffen *et al.*, 2015). Losses of biodiversity and climate oscillations are parts of the development process of humans intervening with natural dynamics. Humanity has surpassed the recovery of these limits to continue providing goods and services that harness dignity for humans and stability for the rest of life.

The planetary boundaries exceeding the safe limits result from the growth of the world's population and economies, gradually increasing people's exposure to natural hazards and undermining ecosystems. The lack of management of natural resources facilitates changes in land use and environmental stresses. This alteration to the natural phenomena can cause loss of human lives, livelihoods, property damage, and more land degradation. In addition to this, new challenges arise as weather patterns, and nutrient flows change. Common factors that make people and nature more vulnerable are: the inadequate construction of infrastructure, unplanned urban growth, deforestation, environmental destruction, pollution, human settlements in danger zones, and overexploitation of natural resources.

Human impacts on natural capital unbalance the safety and health of the planet, spreading diseases, unsustainable food systems, adaptations, and pandemics up to extinction (Phillips, 2020; Gorji & Gorji, 2021). These human and natural disruptions fall over early careers and any other habitant challenging them to maintain a clear mental state and a competitive level in professional practice (Shultz *et al.*, 2013; Gayle, 2022). This course of events is an opportunity for people engaged in climate tasks in greening Earth (Krauss, 2021). Similar public actions may smooth workers away from fossil-fuel toil (Bazilian *et al.*, 2019). Any other national and global treaty creates opportunities to rebalance science application, mainly in remediation, cost recovery, subsidies, and organizing natural resources distribution. Local policies help determine whether ecological compensation is cost-effective and intertwines with nature at a stride needed for regeneration, equilibrium, and climatic "neutrality". This is restoring science to tackle the human and climate crisis (Elmqvist *et al.*, 2015; Crawford, 2019).

Science and politics are inseparable. Challenges in all science disciplines could not be understood or surmounted without substantial inputs from science and technology. Such news transcends political landmarks to encourage or discourage science and technology from providing public goods and public health; an opinion long sought by conservatives but derided by many scientists and authorized experts. This delay in doubt reflects the classic hallmarks of modern-day climate crisis denial (Nature Ed., 2020).

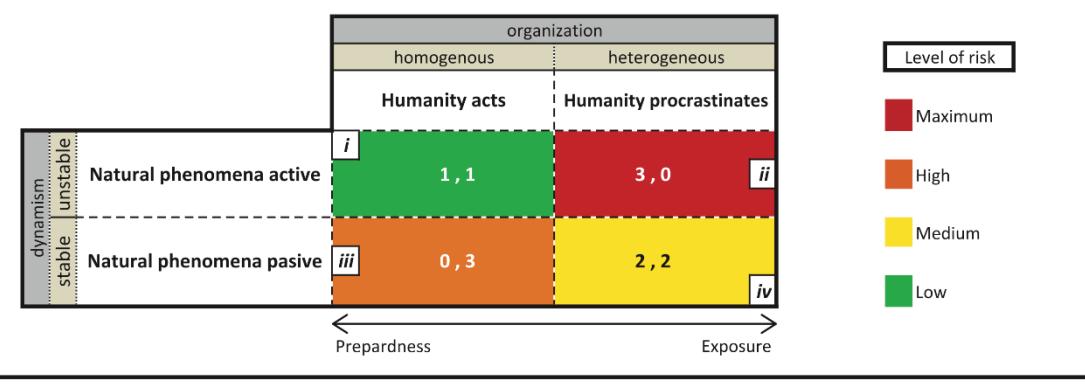
At challenging times, science communicators and expert-witness work as informers bridging the communication gap between scientists, society, and policymakers. Their work is compatible with the inclusive, democratic, and plural processes the world desperately needs. Geo-informers must research data by all lawful means at a constant pace: reading the press, monitoring radio and television broadcasts, conversations with the country's officials and their colleagues, as well as with personalities from the public and private sectors, including observations in the course of travel. Mingling geoscience with the people and public policy makes science communication a smart investment, strengthening academia and industry. The perception of an Earth scientist consider budget information and transboundary interests joined to spatial visions and realities for partly molding geopolitics. During baffling dialogues between the interested party and scientists tensions may spark, especially in business triggering geoengineering against all climatic odds and environmentally friendly solutions (Wetter & Zundel, 2017). This position makes it hard to balance, avoiding agitations among all objectives.

To aim in the mountainous of information, science advisers explain failures and unmistakable evidence, seeking proof for the responsibility of the acts of cause and damage. The mastering of head scientists creates a diversion to gain time for answering unsolved facts or position statements about risks that could turn into convincing evidence or become a distraction for prescription in policies, regulations, interdictions, bids, assessments, and enforcement. Despite all circumstances, scientific communication remains ethical to the methods, protecting the sources producing data and capable of the replicability of research. (National Academies of Sciences, 2019; Hooke, 2022). These practices prevail as a shared responsibility with committees and governmental agencies. Also, licensed experts may disclose the misconduct and questionable research practices vastly unknown (Xie et al., 2021). These specialists are ancillary in translating the risk of complex systems on Earth to the attorneys, making examples to describe data much easier (Aroiso, 2018).

The outstanding Earth workforce serves as a competitive interface to organize the enterprise structure for crisis stability, preventing collapse. Examples of how scientists make elementary interpretations to decision-makers include modeling the terrain and resources for leasing on public domain land, building sea level rise scenarios, drafting the drifting forces crossing Earth, and calculating science spending. With this and other advantageous competencies, Geoscientists escalate to the negotiation decision for early warnings reducing the impacts of natural risks and induced disasters. They offer recommendations for hazards, desertification reduction, determine mineral provisions, reserves, choose spillway locations, point areas vulnerable even outside recursive return periods of flooding, forecast Earth and space weather, find energy sources, claim the natural heritage, fix ocean acidity, refurbish coasts, support forensic crimes, or inform safe places to settle human migrations (e.g., Hauer, 2017; Peri, 2017). Science briefing also includes declaring disasters, environmental emergencies, and affirmations of Earth corridors that might support legislation and judicial systems.

Earth is the geopolitical board at stake where Humanity and Natural systems are likely disconnected and unbalanced. Each part represents a subject that may jeopardize or secure the integrity of the other. One subject may score higher in this fragile composition, unfolding the worst scenario impacting by surprise. Still, only one will respond to reunite and reproduce or fall into extinction. This is the case for natural phenomena for prolonged environmental events that record with intensity, extending severely, rising, and disappearing conditions in droughts, storms, heatwaves, landslides, sea level, glaciers, and oceans, which can directly harm animals, destroy the places they live and wreak havoc on people's livelihoods and communities.

The rectangular array of quantities in rows and columns in Figure 1 shows human actions accordingly to the risk and plausible vulnerability to natural or induced dangers and hazards. The hypothesis is an approximation for finding if the situation of risk exposure is related to a subject. The goal is to score for gaining early insights into problems that our society is ready or not prepared to face. Else, the score is to even the situation and embrace between subjects. This matrix of two main strategies is divided into a panel with four possible situations and magnitudes of chance in which humans or nature may react. This test sums up to three or equals zero. Subjects can act concurrently with the other, they may also tie, or one will obliterate the rest. The box chart is a simplified visual expression that illustrates possible outcomes and cases. This prediction is just a preliminary derivation of causal analysis for the current global events.



i Natural phenomena and Humanity cooperate simultaneously with the deficiency for recovery and boost life regeneration toward resilience.

Score = Nature, 1 ; Humanity, 1.

Cases: Redesign, Nature-based solutions for reproductivity, mechanisms to transfer knowledge, replication of natural dynamics, and encourages science.

e.g., Al Baydha hydrological design in rural Makkah Province, Hijaz Mountains, western Saudi Arabia (2009-2018)

e.g., Rajasthan water harvesting for climate Resilience, India (the late 1980s).

e.g., Cuba has overcome historical hurricane seasons and peak oil (since the 1970s).

ii Natural phenomena occur as sudden bursts or unexpected adverse events striking humanity and severely pausing human development.

Score = Nature, 3 ; Humanity, 0.

Cases: Science denial or induced environmental modifications, Science delusion (Sheldrake, 2013), Environmental Harmful Subsidies

e.g., Fukushima nuclear disaster from catastrophic Tohoku earthquake and tsunami, Daiichi nuclear power plant, Japan (March 11, 2011).

e.g., Houston catastrophic flooding after Hurricane Harvey, USA (August 17, 2017 – September 3, 2017).

iii Natural phenomena and Humanity resolve with a preparedness plan and remediates exposed systems using compensations or insurance.

Score = Nature, 0 ; Humanity, 3.

Cases: Intervention to neutralize imminent environmental emergencies, unusually record or prolonged conditions, after extreme events, mainly overstressed resources, and expensive mitigation.

e.g., Germany, Netherlands, and Belgium flooded after the heatwave in central Europe (July 2021).

e.g., Hurricane Katrina caused levee failure and life-threatening flash flooding in Buras, Louisiana, USA (August 29, 2005).

iv Natural phenomena and Humanity create a neutral situation toward passive retention and remediation.

Score = Nature, 2 ; Humanity, 2.

Cases: Perpetual monitoring, scientific procrastination, inefficient management and limited practices for collective correction,

gradual restoration, recovery can turn counterproductive, a conventional response by countries with suitable infrastructure.

e.g., Miami, Florida subsidence and sea-level rise set collapsed housing and threaten gentrification, USA (since 2003 and June 24, 2021).

e.g., Cumbre Vieja volcanic eruption, the Spanish island of La Palma in the Canary Islands (September 19 - December 13, 2021).

*Chart for the status of risk based on human actions and impacts from natural phenomena.*

The complexity refers to a degree in the human organization to live with one another and venture out with Nature. The situation is said to be homogenous in environments with items to balance the state of risk. In contrast, the situation in which there are dissimilar items or lacks components for preserving safety is noted heterogeneous. As the organization in the environment becomes heterogeneous, risk management has more variables to contend with.

Environmental dynamism refers to the rate and predictability of change in the conditions of the environment. Environments in which the rate of change is slow and relatively predictable are considered stable. Controversy, situations in which the rate of change is fast, imminent, and rather unpredictable are said to be unstable. As the environment becomes unstable, it presents more significant challenges for risk to contain.

Creativity can lead to actions to secure our future. Scientific instruments such as diagrams are powerful exercises for more accessible representations to demonstrate human well-being and health threats. Similar practices may summarize Earth data analysis to officials, no scientific members, and the public for comparison to judge the cases by recalling synthetic approximations to pronounce sentences or strategies.

**Disclaimer:** The author is an active GOAL member; this organization bears no responsibility for the contents of neither the author's remarks nor the other institutions named here or those affiliated with the author. Igor Ishi Rubio Cisneros has no interests to declare. His comments are based on published sources and personal communications and do not correspond to any current job.

Peer review not commissioned, internally and externally peer-reviewed.

## References

- Aroiso, M. *et al.*, 2018, Natural hazard risk of complex systems – the whole is more than the sum of its parts: II. A pilot study in Mexico City. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci. Discuss.*, 20, 521–547. doi: 10.5194/nhess-2018-278
- Bassett, M.T., 2020, Tired of science being ignored? Get Political. *Nature*, 586, p. 337. doi: 10.1038/d41586-020-02854-9
- Bazilian, M., *et al.*, 2019, Model and manage the changing geopolitics of energy. *Nature*, 569, 29-31. doi: 10.1038/d41586-019-01312-5
- Crawford, N.C., 2019, Pentagon Fuel Use, Climate Change, and the Costs of War. Watson Institute, International & Public Affairs, Brown University. 46 p.
- Elmqvist, T., *et al.*, 2015. Benefits of restoring ecosystem services in urban areas. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 14, p. 101-108. doi: 10.1016/j.cosust.2015.05.001
- Gayle, D., 2022, 'I forget everything': the benefits of nature for mental health. *The Guardian*, Feb 21.
- Gorji, S., & Gorji, A., 2021, COVID-19 pandemic: the possible influence of the long-term ignorance about climate change. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 15575-15579. doi: 0.1007/s11356-020-12167-z
- Hauer, M.E., 2017, Migration induced by sea-level rise could reshape the US population landscape. *Nature Climate Change*, 7, pages 321–325. doi: 10.1038/NCLIMATE3271

Hooke, W., 2022, Three policies shape enterprise value: Minor adjustments could enhance the social benefit. An AMS Policy Program Study. The American Meteorological Society, Washington, D.C. 33 p.

Khatri, A., 2022, Message to mayors: cities need nature. *Nature*, 601, p. 299. doi: 10.1038/d41586-022-00102-w

Krauss, C., 2021, 'A slap in the face': The pandemic disrupts young oil careers. *The New York Times*, Jan 3.

Munczek Edelman, D., 2020, How a Climate Corps Could Put Youth to Work in Greening America. *Yale Environment*, Oct 15.

National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2019). Reproducibility and Replicability in Science. Washington, DC: The National Academies Press, 256 p. doi: 10.17226/25303

Nature Ed., 2020, Why Nature needs to cover politics now more than ever. *Nature*, 586, 169-170. doi:

Peri, C., *et al.*, 2017, Population in the U.S. Floodplains. NYU Furman Center, 13 p.

Phillips, C.A., *et al.*, 2020, Compound climate risks in the COVID-19 pandemic. *Nature Climate Change*, 10, 586–588. doi: 10.1038/s41558-020-0804-2

Rubio-Cisneros, I.I., 2018, Geología y Estado: forma, fondo y territorios vecinos en México. Universidad Autónoma de Nuevo León, Tendencias, 420 p.

Sheldrake, R., 2013, The science delusion. Coronet Ed., 392 p.

Shultz, J.M., *et al.*, 2013, Psychological Impacts of Natural Disasters. In: P.T. Bobrowsky, *Encyclopedia of Natural Hazards*, Springer, 779-791. doi: 10.1007/978-1-4020-4399-4\_279

Steffen, W., *et al.*, 2015, Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347 (6223). doi 10.1126/science.1259855

Wetter, K.J., & Zundel, T., 2017, The Big Bad Fix, The case against climate geoengineering. ETC Group, BiofuelWatch and Heinrich Boell Foundation, 103 p.

Xie, Y., *et al.*, 2021, Prevalence of research misconduct and questionable research practices: A systematic review and meta-analysis. *Science and Engineering Ethics*, 27 (41), 28 p. doi: 10.1007/s11948-021-00314-9

## 7. La rotulación en los parques volcánicos de Costa Rica y áreas vecinas como complemento para una gestión del riesgo: Un ejemplo de geoalfabetización a seguir en otros sitios de interés geológico

Guillermo E. Alvarado<sup>1,2</sup>, Ramón Araya<sup>1</sup>, Lidier Esquivel<sup>1</sup>, Blas Sánchez<sup>1</sup>, Yemerith Alpízar<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE), San José, Costa Rica.

<sup>2</sup>Área de Amenazas y Auscultación Sísmica y Volcánica, Instituto Costarricense de Electricidad (ICE)

<sup>3</sup> Universidad Técnica Nacional

[galvaradoi@ice.go.cr](mailto:galvaradoi@ice.go.cr)

### Introducción

Con una visión prospectiva de conservación y de reducción del riesgo, casi todos los grandes volcanes de Costa Rica, ya sea históricamente activos, dormidos y extintos, comenzaron a ser declarados parques nacionales a partir de 1955, deteniendo la ocupación humana y la extensión de actividades productivas no acordes al potencial de uso del suelo, particularmente la agricultura y la ganadería, así como posibles actividades de comercio e industria en la cúspide de estos sectores. Varios de estos parques nacionales han estado expuestos a la actividad eruptiva de alguno de los cinco volcanes históricamente activos. A finales del siglo XX, Costa Rica comenzó a promocionarse a nivel mundial como un destino turístico importante por su gran biodiversidad y su vocación de conservación; ello hizo que la visitación a los diferentes volcanes de país aumentara y, por ende, la exposición de las personas a los diferentes peligros volcánicos (Alvarado, 2021).

### Información para una mejor gestión del riesgo

En aras de una mejor gestión del riesgo, las universidades públicas y la Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE), monitorean los diferentes volcanes del país y desarrollan una serie de actividades informativas y educativas hacia la población, tales como talleres, charlas, conferencias, plegables informativos, posters, folletos, rótulos entre otros (Alvarado, 2021; Alvarado et al., 2021).

### Geoalfabetización mediante rotulación

Como parte de estas actividades, a partir del 2020 se dio una campaña intensa de lo que se podría llamar una *geoalfabetización volcánica*, que consistió en el diseño, diagramación e instalación de rótulos de aluminio (resistentes a la lluvia ácida e inclemencias del trópico) con información preventiva y educativa en español e inglés, que contiene mapas, fotografías, dibujos históricos y advertencias, entre otros.

Hasta mayo del 2022, se han rotulado 7 parques nacionales volcánicos (en orden cronológico: Poás, Turrialba, Irazú, Rincón de la Vieja, Barva y Miravalles) y zonas protegidas (Los Maares de Hule y Río Cuarto y el Volcán Congo), así como en las zonas de amortiguamiento (*buffer*) de los sectores aledaños y comunidades cerca de los parques (Campo Volcánico Pasquí-Las Cazuelas; La Central, Dos Ríos, Gavilán, Buenos Aires, Bajos del Toro).

Más de dos centenares de rótulos se han instalado hasta el momento, con la colaboración del Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC), el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), comunidades, empresas privadas, sector turismo y Asociaciones Administradoras de los Sistemas de Acueductos y Alcantarillados comunales (ASADAS), lo que ha generado un empoderamiento y sentido de pertenencia e importancia en todas las organizaciones y la comunidad en general.

Los rótulos se agrupan en dos tipos:

a) *rótulos informativos*, con aspectos geológicos y vulcanológicos relevantes del volcán, su grado de actividad eruptiva presente y pasada, incluyendo ejemplos directos en el campo de tipos de peligros volcánicos, entre otros (Figura 1).

b) *rótulos preventivos*, con advertencias para los turistas de que están ingresando a zona con actividad volcánica, peligrosidad por deslizamiento, lahares, caídas o erupción volcánica, no ingresar y rutas de evacuación (Figura 2).

### Conclusión

Todas las acciones previamente descritas están vinculadas a la Ley Nacional de Emergencias y Prevención del Riesgo N.º 8488, a la Política Nacional de Gestión del Riesgo (2016-2030) y al Plan Nacional de Gestión del Riesgo 2021-2025.

Lo anterior debería de implementarse no solo en otras áreas de conservación que posean aspectos de interés geológico, sino en aquellos lugares que puedan tener su atractivo y de protección (afloramientos, geoformas, tipos particulares de rocas o depósitos, entre otros) como geomorfosito y de geodiversidad, o incluso un candidato para ser declarado patrimonio geológico o futuro geoparque.

### Agradecimientos

La Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE) costeó la confección y transporte de los rótulos. Diversas entidades colaboraron con su instalación, entre varias de ellas, el Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC) con sus Parques Nacionales, las comunidades locales, diversas empresas privadas, el sector turismo en algunas localidades, en particular la Cámara de Turismo Rincón de la Vieja (Carturi), el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) y las Asociaciones Administradoras de los Sistemas de Acueductos y Alcantarillados comunales (ASADAS), en particular la ASADA de Santa Rosa.

### Referencias

Alvarado, G. E. (2021). *Costa Rica y sus volcanes*. EUCR, EUNA, ETCR.

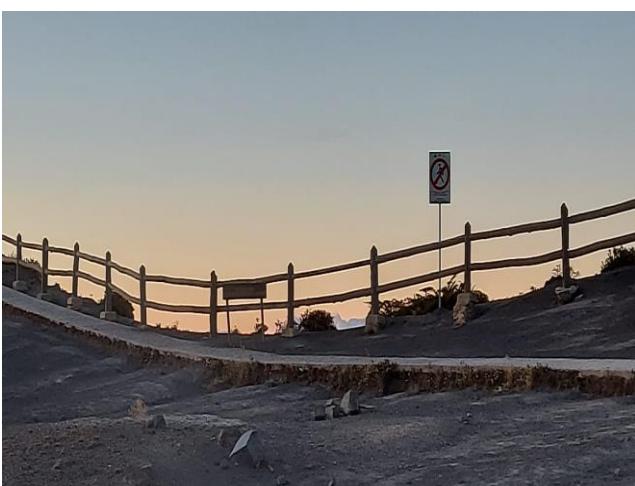
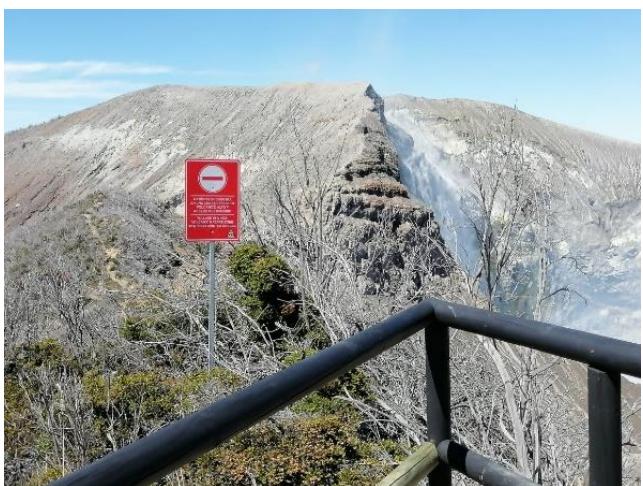
Alvarado, G. E., Esquivel, L. y Sánchez, B. (2021). Mejoras en el paradigma del manejo de la gestión del riesgo en los parques nacionales volcánicos de Costa Rica, entre el año 2000 y el 2020. *Rev. Geol. Amér. Central*, 64, 1-15.

**Figura 1: Rótulos informativos**





**Figura 2: Rótulos preventivos**





### 8. GOAL's new members

#### **Yamirka Rojas-Agramonte**

Me gradué como ingeniera geóloga en Cuba (Universidad de Pinar del Río) y obtuve mi título de doctora en la Universidad de Salzburgo (Austria) en 2003, luego me trasladé a Mainz (Alemania) como becaria Humboldt. Desde febrero de 2020 soy investigadora asociada en la Universidad de Kiel. Mi principal interés es entender la formación y evolución de los orógenos en el mundo (el cinturón orogénico de Asia Central, el Caribe y los Andes del Norte), así como la evolución de la corteza continental mediante la integración de una variedad de técnicas que incluyen observaciones de campo, tectónica, petrología, geoquímica y geocronología.

Mi otra línea de investigación incluye la comprensión del proceso de reciclaje en las zonas de subducción y las heterogeneidades composicionales del manto sobre la base de la geoquímica isotópica y la geocronología, principalmente del circón reciclado. Además, combino el trabajo de campo detallado y las observaciones petrológicas con técnicas geoquímicas avanzadas para estudiar los basaltos de arco y de islas oceánicas a través del tiempo.



#### **Byron Solís Alulima**

Mis estudios universitarios han abarcado campos como la Sedimentología y Estratigrafía en Ecuador (Ingeniería Geológica - Escuela Politécnica Nacional EPN) y Metamorfismo en España (Maestría - Universidad de Salamanca USAL). Actualmente curso mi último año de Doctorado en la Universidad Complutense de Madrid (UCM). Mis intereses actuales son la geocronología y metamorfismo. Durante mi doctorado he realizado estancias doctorales en España y Alemania. En el Institut für Geowissenschaften de la Christian-Albrechts-Universität en Kiel trabajé durante tres meses en el análisis de minerales de interés termobarométrico y en la estimación de condiciones P-T de eventos metamórficos.

Mi carrera profesional la he desarrollado en diferentes campos de la geología. He trabajado para el Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico (INIGEMM) en el proyecto de actualización cartográfica de Ecuador. En el sector privado trabajé en Geotecnia, Geotermia y Exploración minera. He sido docente en la EPN (Ecuador) y asistente de cátedra en la UCM (España). Como resultado de mi investigación he publicado diversos trabajos sobre la geología de Ecuador y España. Además, fui Revisor técnico para el Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología.



### Luis Alberto Pérez García

Luis Alberto Pérez García es graduado de Ingeniero en Geología (2017) de la Universidad de Moa, Cuba.

En el año 2017 comenzó su adiestramiento en el Departamento de Geología de la Universidad de Moa, en las especialidades de Geología de Yacimientos Minerales y Geoquímica Aplicada.

En 2019 logró una plaza de Profesor Instructor en el Departamento de Geología de la Universidad de Moa.

A finales de 2019, se vinculó con el Centro de Investigación y Desarrollo de los Materiales de la Universidad Central de las Villas, Cuba, participando en las investigaciones cubanas sobre el desarrollo de cementos bajos en carbono, a partir de la adición de arcillas caoliníticas calcinadas. Tema que aun desarrolla como estudio doctoral.

En 2020 realizó una estancia de investigación en la Universidad Tecnológica de Karlsruhe (KIT) Alemania, auspiciado por el Baden-Württemberg-STIPENDIUM, especialmente vinculado al Instituto de Estructuras de Hormigón y Tecnología de Materiales de Construcción (IMB Karlsruhe); y al Instituto de Investigación y Ensayo de Materiales (MPA Karlsruhe).

Actualmente es Profesor Asistente del Departamento de Geología de la Universidad de Moa, Miembro de la Sociedad Cubana de Geología SCG, miembro de la Unión de Ingenieros de la Construcción y Arquitectos de Cuba UNAICC y Coordinador del Grupo de Geotecnología de los Materiales de la Universidad de Moa.

Dirige el Proyecto de Caracterización de arcillas caoliníticas para cementos de bajo carbono en Cuba oriental del Servicio Geológico de la Republica de Cuba.



### Óscar Álvarez Silva

I am coastal physical oceanographer. I am professor at the Department of Physics and Geosciences at Universidad del Norte in Barranquilla, Colombia. My main field of work is the analysis of resources, feasibility of implementation, and possible environmental impacts of marine energies. I have made a special effort in the research of Salinity Gradient Energy. I also investigate on estuarine hydrodynamics from both field data and modelling. The delta of the Magdalena River, discharging into the Caribbean Sea in Barranquilla, has been the most important lab for my research group for approaching estuarine processes.



### 9. International Scientific Events

**XXI Inqua Congress in Paleoseismology and Neotectonics**, July 14-20, 2023, Sapienza University of Rome, Italy: More information: <https://inquaroma2023.org/>

**EGCCC-2022, Euro-Global Climate Change Conference**, September 19-20, Paris, France and virtually. More information: <https://www.usa-conferences.com/climate-change>

**GOAL workshop 2022: Geosciences in the 21st century: Digitalization, Sustainability and Strategic Metals**, October 9-16, 2022, Greifswald-Freiberg (Germany). More information: <http://www.geonetwork-goal.org>

**9<sup>th</sup> International Conference on Geological and Environmental Sustainability**, November 17-18, 2022, London, UK. More information: <https://geology.conferenceseries.com/>

GOAL Homepage: <https://geonetwork-goal.org>

If you have any question or comments, please contact:  
Nury Morales-Simfors, GOAL Newsletter Editor, [simforsmoralesnury@outlook.com](mailto:simforsmoralesnury@outlook.com)

Design: Maria Elena Vargas Magaña, [maelvama@gmail.com](mailto:maelvama@gmail.com)

Reviewed by: Reinaldo García, GOAL Regional Coordinator, [rgarcia9@gmail.com](mailto:rgarcia9@gmail.com)