



## SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL DEL DESARROLLO GASOPETROLÍFERO ONSHORE: EXPERIENCIAS EN EL TRÓPICO HÚMEDO.

### ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY OF OIL & GAS DEVELOPMENTS ONSHORE: EXPERIENCES FROM THE HUMID TROPICS

L.F. MOLERO-LEÓN

INVERSIONES GAMMA, S.A., Apartado 6246, CP 10660, La Habana, Cuba. E-mail: [especialistaprincipal@gmail.com](mailto:especialistaprincipal@gmail.com)

#### Palabras clave: Resumen

petróleo Trópico Húmedo sostenibilidad Se presentan los resultados de las acciones de gestión ambiental que acompañan la exploración/producción/almacenamiento de petróleo onshore y offshore en algunos países del Trópico Húmedo (Bahamas, Camerún, Canadá, Cuba, Ecuador, México, Guinea Ecuatorial, Trinidad-Tobago, Venezuela) bajo condiciones de borde geológicas, hidrológicas, institucionales, sociales, políticas y operacionales muy variadas. Se comenta el diseño y operación de medidas estructurales y no estructurales que han minimizado o prevenido los daños ambientales, como el diseño apropiado de redes de monitoreo de la calidad del aire y las aguas, derivación y aplicación de tecnologías novedosas para la gestión de los pasivos ambientales, particularmente la disposición final de las aguas producidas y los residuos de perforación

#### Keywords: Abstract

oil Humid Tropics sustainability This paper describes the results of the environmental management actions accompanying the onshore and offshore oil & gas exploration/production/storage in several countries in the Humid Tropics (Bahamas, Cameroon, Canada, Cuba, Ecuador, Mexico, Equatorial Guinea, Trinidad-Tobago and Venezuela). Actions taken under highly varied geological, hydrological, institutional, social, political and operational boundary conditions comprises the appropriate design and operation of air and water quality monitoring networks, derivation and application of novel technologies for the management of liabilities like the final disposal of produced water and drilling wastes.

#### Introducción

El adjetivo Tropical agrupa, ante todo y, sobre todo, un fenómeno hidrológico. Se refiere -desde el punto de vista geográfico- a la extensa zona comprendida entre los Trópicos de Cáncer y de Capricornio. Esta aproximación extendería los límites hasta los 30° en ambas latitudes, pero, desde el punto de vista meteorológico, las líneas que separan los vientos alisios de los occidentales se consideran estrictamente los límites de la Zona Tropical (Fig. 1). Con tal criterio, el Trópico Húmedo se extiende hasta los 28° al Norte y Sur del Ecuador, con la excepción de América Central y el Caribe, donde se restringen a los 20°. La Organización Meteorológica

Mundial define las regiones tropicales como aquellas que se encuentran por debajo de los 30° de latitud Norte o Sur, poseen una precipitación anual media anual no inferior a los 1200 mm y la temperatura media del aire, en cualquier mes, no es inferior a los 18°C.

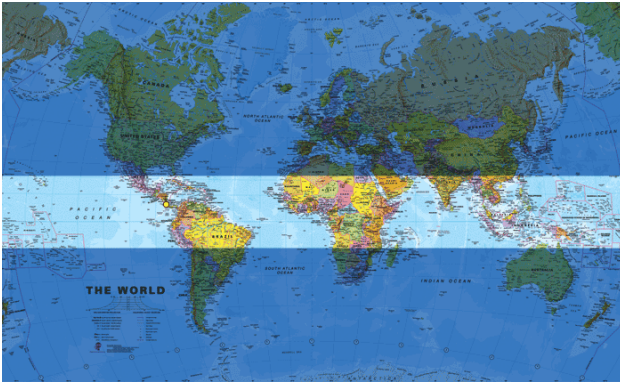
Como señala Díaz (1988), el fundamento de una hidrología tropical específica -para una región que abarca tres millones de kilómetros cuadrados- no está en la ocurrencia de fenómenos de gran magnitud sino en la incidencia de eventos que alcanzan valores próximos a la máxima capacidad de la naturaleza, lo que hace que la aplicación de los métodos tradicionales de estimación hidrológica conlleve una gran incertidumbre.

Recibido: 23 de junio de 2021

Aceptado: 15 de noviembre de 2021

Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution License CCBY-NC (4.0) internacional. <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>





**Figura 1.** Límites de la zona tropical (zona clara).  
**Figure 1.** Boundaries of the Tropical Zone

En efecto, el Trópico Húmedo se caracteriza por fuertes procesos de la dinámica endógena, como el vulcanismo, la sismicidad y la neotectónica; de la dinámica exógena, como lluvias muy intensas, torrenciales y huracanadas y, consecuentemente, avenidas catastróficas causadas o inducidas por los huracanes o por lluvias intensas; pero también sequías y una permanente erosión costera y del suelo. Estos procesos se combinan provocando catástrofes multicausales e inducidas como, la inestabilidad de taludes (licuefacción, deslaves, deslizamientos, desprendimientos), inundaciones costeras e interiores, hundimientos y subsidencia y contaminación de las aguas terrestres y marinas, suelos y atmósfera. La compleja geología, la existencia de multitud de pequeños estados insulares y una muy variada riqueza mineral son rasgos típicos de la región. Entre ellas, el desarrollo de un karst singular, activo y recursos gasopetrolíferos imponen fuertes restricciones a la gestión ambiental eficiente.

Esta contribución pasa revista a los resultados obtenidos por el autor y un grupo de colaboradores en la introducción y aplicación de un conjunto de técnicas de soporte a los instrumentos de gestión ambiental en yacimientos gasopetrolíferos onshore y offshore bajo condiciones de borde particulares de la geología, el relieve y la necesidad de garantizar la sostenibilidad ambiental del desarrollo socio económico en países donde es imprescindible garantizar la compatibilidad del aprovechamiento de los recursos naturales, tomando en cuenta las especificidades de la región tropical.

### Reconocimientos

Los resultados que aquí se presentan han sido logrados gracias a la colaboración y apoyo de mis compañeros y colegas del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, el Instituto de Geofísica y Astronomía, CESIGMA, S.A. e INVERSIONES GAMMA, S.A. en los últimos 25 años, el apoyo de autoridades ambientales y gubernamentales de

Bahamas, Camerún, Canadá, Cuba, Ecuador, México, Guinea Ecuatorial, Trinidad-Tobago, Venezuela, y el de operadores de petróleo en esos países tales como BP, BRASOIL, CUPET, EXXON MOBIL, GE-TOTAL, HESS, INTI, MARATHON, PEMEX, PETRAF, PDVSA, SAINT MARTIN CONSTRUCCIONES, SERTECPET, SHERRITT INTERNATIONAL, SONAGAS. Las políticas ambientales de gobiernos de esos países y de las empresas petroleras ha sido la base institucional para alcanzar los objetivos de los trabajos que aquí se sumarian.

Durante nuestros trabajos en Guinea Ecuatorial en el Ministerio de Minas e Hidrocarburos nos entregaron notas sobre la geología del país no acreditadas a autor alguno que fueron recogidas en dos de nuestros trabajos publicados en 2014 (ver bibliografía). El Dr Francisco J. Cabezas, de la Universidad Complutense de Madrid, España, amablemente reclamó su autoría y aprovecho la oportunidad para dar crédito a los artículos que aparecen en la bibliografía agradeciendo, una vez más, la oportunidad de corregir y completar algunos datos.

### Instrumentos de gestión ambiental y problemas específicos a resolver

Dos instrumentos de gestión ambiental han sido considerados con detalle para garantizar la sostenibilidad ambiental de una actividad tan compleja y agresiva al medio ambiente como la exploración y producción de petróleo: a) el sistema de información ambiental y b) la investigación científica y la innovación tecnológica. Para el primer caso se desarrollaron técnicas específicas de diseño, operación y optimización de redes de monitoreo ambiental con especial énfasis en la protección de las aguas terrestres (reguladas artificialmente o no), las marinas y el ecotono tierra-océano; en el segundo, la aplicación de tecnologías amigables para la operación de pasivos ambientales y el desarrollo de metodologías innovadoras para la disposición final de aguas producidas; entre otros. Estas acciones de gestión ambiental se han llevado a cabo en distintos países de la Cuenca del Caribe (Fig. 2) y de la Provincia Gasopetrolífera de Guinea Ecuatorial (Fig. 3) que, aun con sus especificidades, todas exhiben problemas comunes que comprometen la calidad de medio ambiente.

A nivel conceptual, ingeniero y tecnológico se han aproximado soluciones estructurales y no estructurales orientadas en las siguientes direcciones:

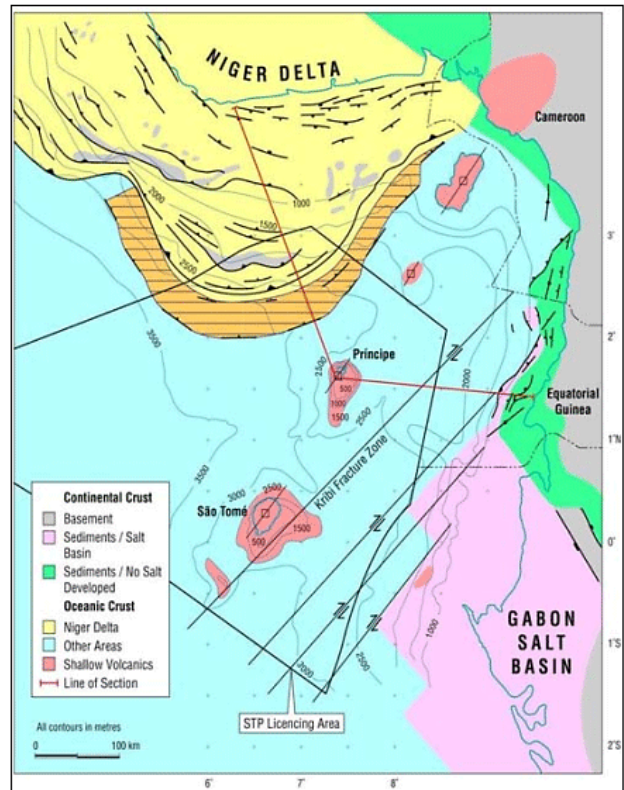
- Diseño y operación de redes de monitoreo hidrológico eficientes, seguras y de respuesta rápida en tiempo real y/o cuasi real, incluidos sistemas de alerta temprana
- Desarrollo de técnicas de optimización basadas en el análisis geomatemático multivariado temporal y espacial, economía de recursos y la reducción sistemática de incertidumbre



**Figura 2.** Cuenca del Caribe, que se extiende sobre territorios continentales, marinos e insulares entre los que no se encuentran grandes diferencias climáticas a la misma altitud y que están expuestos al fenómeno de los huracanes, lluvias torrenciales y avenidas e inundaciones catastróficas. Cubre, por tanto, la costa meridional de los Estados Unidos, parte de Yucatán, la vertiente caribeña de América Central, Colombia y Venezuela, así como las Antillas y las Bahamas.

**Figure 2.** The Caribbean Basin extends over continental, marine and insular territories among which great climatic differences at the same altitude are not found. Is a hurricane, heavy rains and catastrophic floods prone area. The basin covers the southern coast of the United States, the Caribbean slope of Central America, Colombia, Venezuela and the Antilles and Bahamas

- Implementación de técnicas de identificación de patrones geoquímicos (incluyendo isotópicos) de reconocimiento de los tipos genéticos de aguas en los yacimientos y las mezclas entre diferentes tipos de aguas
- Disminución de los costes energéticos de la inyección de aguas producidas a pozos productores abandonados y la disposición de residuos sólidos mediante diseños robustos de sistemas de almacenamiento y reutilización
- Introducción de tecnologías innovadoras para la disposición final de aguas producidas en acuíferos someros salinizados o en cuerpos de agua salinos
- Evaluación sistemática de la estabilidad ingeniera de las obras periféricas de regulación artificial de las aguas superficiales, fenómenos de penetración del mar e inundaciones costeras y de las captaciones de agua subterránea ante eventos sísmicos, de lluvia torrencial y vulcanismo, así como de la seguridad de los sistemas viales, estructuras industriales y otros activos y sistemas de pasivos ambientales en los yacimientos y su zona de influencia
- Actualización de los modelos geológicos e hidrogeológicos del yacimiento y la cobertura



**Figura 3.** Rift de Camerún y Provincia Petrolera de Guinea Ecuatorial que abarca -entre otros- a Nigeria, Camerún, Guinea Ecuatorial, Gabón y Sao Tomé y Príncipe (tomado de ANP-STP, 2014).

**Figure 3.** Cameroon Rift and the Equatorial Guinea Oil Province involving (among others), Nigeria, Cameroon, Equatorial Guinea, Gabon and Sao Tome & Principe

Los problemas que afectan la gestión en general y, en particular, las amenazas y limitaciones a la implementación y generalización de esas soluciones son los siguientes:

- Vandalismo y sabotaje del sistema de ductos y tanques de almacenamiento onshore, piratería y secuestro de barcos y tripulaciones son problemas mayores en la cuenca del Golfo de Guinea (Fig. 4)
- La necesidad de hacer coexistir la disponibilidad y explotación de otros recursos con el de la explotación de petróleo y gas, como es el caso del turismo de sol y playa y la pesca de subsistencia y deportiva en la cuenca del Caribe (Fig. 5) y, especialmente en las pequeñas islas; sobre todo, en los pequeños estados insulares
- La amenaza constante de pérdida de calidad de las aguas de valor económico y social destinadas a uso doméstico, agrícola, industrial, social y ecológico



**Figura 4.** Escolta armada de protección contra la piratería de buques tanque de petróleo en el Golfo de Guinea (foto <https://www.imo.org/es>).

**Figure 4.** Armed escort against piracy of oil vessels in the Gulf of Guinea

- El fallo de las obras de contención, disposición de residuos o de almacenamiento por falta de mantenimiento o complicaciones geológicas o eventos hidrológicos extremos (lluvias intensas, penetraciones del mar, inundaciones costeras, sismos, erupciones volcánicas, subsidencia, licuefacción, movimiento de laderas y otros semejantes o asociados)
- Afectaciones al entorno de los pueblos originarios o ecosistemas sensibles como en la Amazonia ecuatoriana (Fig. 6) sometidos, sobre todo, a la disposición inadecuada e irresponsable de aguas producidas, residuos oleosos, cortes y lodos de perforación

## Resultados y Conclusiones

Los daños al entorno se han minimizado notablemente y, de hecho, con la intervención de estas tecnologías se ha logrado contribuir eficazmente a la sostenibilidad de la exploración y producción de petróleo en muchos yacimientos. El éxito de estas aproximaciones no se debe exclusivamente a la robustez y efectividad de las tecnologías diseñadas e implementadas, sino a la fortaleza de los instrumentos de gestión ambiental, la voluntad política de los gobiernos, las rigurosas políticas ambientales de las compañías petroleras y a un fuerte sistema de educación ambiental que trasciende a la comunidad. Las principales serán reseñadas a continuación.

La **operación de sistemas de vigilancia y monitoreo ambiental** es fundamental y, en lo que concierne a las aguas terrestres y marinas y al ecotono tierra-océano son imprescindibles. A los operadores de petróleo se trasladaron las técnicas de diseño de redes de monitoreo basadas en técnicas geomatemáticas que permiten una sostenida ganancia de información y conducen a un conocimiento muy preciso de la estructura interna de los sistemas de flujo; sobre todo en el caso de los acuíferos carbonatados (Molerio, 2019a; Molerio y Torres, 2002). La definición de



**Figura 5.** Tanques de almacenamiento de hidrocarburos en la costa de New Providence, Mancomunidad de Bahamas (Foto del autor).

**Figure 5.** Storage oil Tanks in the coast of New Providence (Mancommunity of Bahamas)



**Figura 6.** Población originaria en la Amazonia ecuatoriana, ecosistema sensible y sumamente vulnerable en las márgenes del río Napo, Ecuador, cuenca del Amazonas. En esta región se explota el Crudo Napo y ha sido sostenidamente afectada por derrames de petróleo que han afectado grandes extensiones de terreno (Foto del autor).

**Figure 6.** Original population living in the margins of the Napo River, Equatorian Amazonia, a very sensitive environment where the Napo Oil is extracted and negative impacted by oil spills.

indicadores básicos -mediante técnicas de análisis geoquímico y trazadores ambientales estables y radioactivos- con tiempos de respuesta cortos y abarcadores del régimen permitió en muchos casos el diseño y operación de sistemas de alerta temprana contra efectos concretos como derrame de aguas producidas, migración de gases, intrusión marina, entre otros, aprovechando las propiedades de partición de determinados isótopos y la estabilidad de los

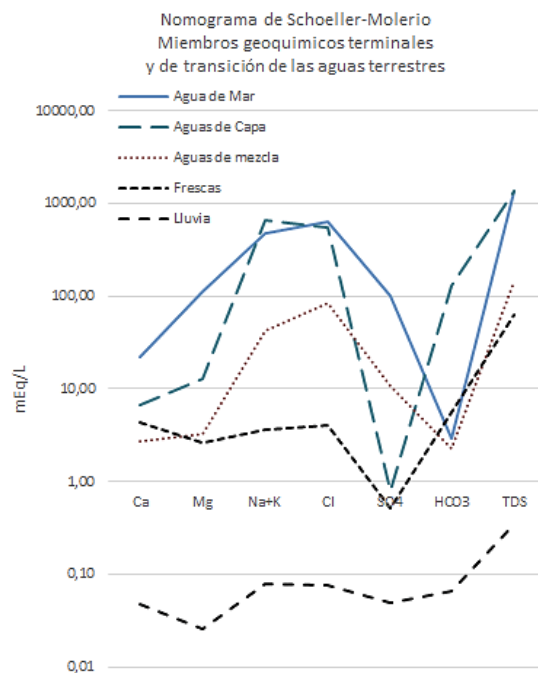
compuestos índice (Molerio 2003, 2006, 2007a, 2007b, 2007c; Molerio, Fernández y Carrazana, 2007a, 2007b).

En paralelo, la **implementación de técnicas de identificación de patrones geoquímicos** (incluyendo isotópicos) de reconocimiento de los tipos genéticos de aguas en los yacimientos ha resultado una técnica de extraordinaria importancia práctica. El concepto de miembro terminal, basado en los criterios de Chebotarev (1955); Wallick y Toth (1976), Tóth (1963, 1970, 2009), sobre todo Schwartz y Domenico (1973), Schwartz, Muehlenbachs y Chorley (1981), pero, sobre todo, Schoeller (1956, 1959, 1962) ha sido fundamental para el desarrollo de un método gráfico (Fig. 7) de identificación de patrones (Molerio, 2020a, 2020b, 2020c). Originalmente derivado para Cuba, ha sido aplicado con éxito en otras regiones del área del Caribe y América del Sur.

La **recuperación de hidrocarburos y la reutilización de los cortes y lodos de perforación** en la pavimentación de viales, impermeabilización de cubiertas es una tarea compleja en la región debido a la distribución y tipo de lluvias, pero en algunos sitios se ha logrado con bastante éxito, como en Maturín, Venezuela, donde las piscinas para residuales se habilitan para la decantación gravitacional agua-hidrocarburo (Fig. 8). Las estructuras de contención deben ser bien proyectadas, construidas adecuadamente y supervisadas sistemáticamente como parte del monitoreo externalizado. Un resultado exitoso se ha encontrado calculando los volúmenes máximos para precipitaciones de probabilidad 1, 5, 10 y 20%.

Especialmente exitosa ha sido la introducción de una **tecnología de disposición final de las aguas producidas** en acuíferos someros salinizados o en cuerpos de agua salinos, como un modo de reducir los gastos energéticos de inyección a pozos productores desactivados y convertidos en inyectoros. Esta tecnología basada en una adaptación de los principios de la Teoría de Pitzer sobre transporte reactivo en salmueras de petróleo y marinas, básicamente en ecotonos de interfase tierra-oceano pero que, por la física del proceso pueden evaluarse en zonas tierra adentro de ambiente semejante (Molerio, 2015, 2019b, 2020a, 2020c, 2020d, Farfán y Molerio, 2020). El propio desarrollo de los algoritmos y el ensayo sistemático de la tecnología han permitido su extensión a medios porosos no necesariamente anisotrópicos y heterogéneos como el karst, sino en aquellos donde las condiciones iniciales y de borde se cumplan, incluso en medios porosos granulares; entre ellos, la determinación de los tiempos de residencia del nuevo flujo multifásico (o polifásico) y de los procesos complementarios de saturación-insaturación de las nuevas soluciones a lo largo de las líneas de flujo interesadas por la disposición somera (Molerio, 2021).

La **actualización de los modelos geológicos, hidrogeológicos e hidrológicos** de los yacimientos resulta



**Figura. 7.** Nomograma Schoeller (modificado)-Molerio de miembros terminales de las aguas terrestres.

**Figure 7.** Modified Schoeller (by Molerio) Nomogram of End-Members of Terrestrial Waters



**Figura. 8.** Centro de tratamiento de cortes de perforación en Maturín, Monagas, Venezuela (Foto del autor).

**Figure 8.** Treatment facility for drilling cuttings in Maturín, Monagas, Venezuela

de indispensable consideración por motivos como: a) la disponibilidad de una data hidrológica más larga y completa que la utilizada originalmente para el cálculo de las obras de contención y en la que, en muchos casos, pueden identificarse los patrones de variabilidad asociados al Calentamiento Global. Igual que en el caso de obras

mayores de regulación artificial del escurrimiento, los valores de diseño y explotación deben ser reajustados para lograr una mayor eficiencia de operación y mejorar el régimen de monitoreo; b) debido también al Calentamiento Global el ascenso sostenido del nivel del mar de hecho constituye una amenaza para la estabilidad de las obras costeras, muchas de ellas antiguas y otras, recientes, no se proyectaron atendiendo este hecho y así, en éste y en el inciso anterior, la mayor frecuencia de lluvias huracanadas, torrenciales, mareas de tormenta, inundaciones costeras y penetración de mar debe ser considerada tanto para la protección de las instalaciones onshore como de la infraestructura offshore; c) las nuevas normativas de muchos países en materia de prevención de riesgos y calidad ambiental, así como recomendaciones de Buena Práctica Internacional obligan a incluir nuevos indicadores para disminuir la vulnerabilidad de las instalaciones costeras; entre ellas, pueden señalarse las recomendaciones del Organismo Internacional de Energía Atómica (IAEA, 2015) para extender el catálogo de sismos en zonas de sismicidad baja a media incorporando registros de paleosismos. En este sentido, en regiones cársicas, la información que brindan las cuevas son de invaluable importancia (Molerio, 2016, 2017, 2018a, 2018b, 2020e; Núñez, Díaz y Molerio, 2017, 2020); d) el modelo geológico de superficie debe ser modernizado incorporando los resultados de las investigaciones y conceptos más recientes en dos direcciones; una, para una mejor comprensión de los procesos de la neotectónica y su relación con la estructura del yacimiento y, otra, para evaluar mejor los peligros geológicos y reducir las vulnerabilidades adecuadamente.

## Referencias

- ANP-STP (2014): **São Tomé and Príncipe - 1st (EEZ) Licensing Round. Petroleum Geology.** [www.stp-eez.com](http://www.stp-eez.com)
- Díaz Arenas, A.(1988): **Something more than a Tropical Climate in the Caribbean Basin.** Water Resources Management and Protection in Tropical Climates. Selected Papers from the First Internatl. Symp., Sweden, 1990:38-44.
- Chebotarev, I. I. (1955): **Metamorphism of natural waters in the crust of weathering-1.** Geochimica et Cosmochimica Acta, vol. 8, Issue 1-2, :22-32
- Farfán González, H., L.F Molerio-León. (2020): **Modelo analítico advectivo-dispersivo en 2D para la inyección de aguas producidas en yacimientos gasopetrolíferos carbonatados en acuíferos cársicos someros salinizados.** Argentina Subterránea, 20(47-48):79-82.
- IAEA (2015): **The Contribution of Palaeoseismology to Seismic Hazard Assessment in Site Evaluation for Nuclear Installations.** International Atomic Energy Agency IAEA-TECDOC-1767, Vienna, 212:
- Molerio León, L.F. (2006): **Radón 222, Tritio, intrusión marina y contaminación por hidrocarburos en acuíferos cársicos litorales.** Mapping, Revista Internac. Ciencias de la Tierra (108), Madrid, Abril: 25-30.
- Molerio León, L.F. (2007a): **Hidrología de Trazadores en la gestión ambiental de yacimientos de petróleo onshore.**2ª. Convención Cubana de Ciencias de la Tierra. VII Congreso de Geología, GEO5-P22, La Habana, Marzo 20-23, 2007:771-814. Publicado en CD-ROM ISBN:978-959-7117-16-2
- Molerio León, L.F. (2007b): **Tritium as an indicator of groundwater overexploitation in a tropical karst aquifer.** International Symposium on Advances in Isotope Hydrology and its role in sustainable Water Resources Management, Vienna, Austria, 21-25 May, 2007. IAEA-CN-151/125
- Molerio León, L.F. (2007c): **Radon 222 and Tritium in the prevention of sea water intrusion and oil pollution in a coastal karst aquifer.** International Symposium on Advances in Isotope Hydrology and its role in sustainable Water Resources Management, Vienna, Austria, 21-25 May, 2007. IAEA-CN-151/124.
- Molerio León, L.F. (2014a): **El vulcanismo en Guinea Ecuatorial y los peligros naturales asociados.** Cub@: Medio Ambiente y Desarrollo; Revista electrónica de la Agencia de Medio Ambiente, Año 14, No.26, 2014.
- Molerio León, L.F. (2014b): **Marco geológico del peligro, la vulnerabilidad y los riesgos naturales en Guinea Ecuatorial.** Cub@: Medio Ambiente y Desarrollo; Revista electrónica de la Agencia de Medio Ambiente, Año 14, No.26,
- Molerio León, L.F. (2015): **Disposición final de aguas producidas tratadas de yacimientos gasopetrolíferos carbonatados en acuíferos cársicos litorales someros salinizados.** Ciencias de la Tierra y el Espacio, enero-junio, 2015, Vol.16, No.1, pp.75-87, ISSN 1729-3790
- Molerio-León, L.F. (2016): **Paleoseismology and Speleothems: Looking for the Speleological Record of Earthquakes in Western Cuba.** NSS News, May 2016, National Speleological Society, 174(5):8-11
- Molerio-León, L.F. (2017): **Evidencias espeleológicas de paleosismos en el Occidente de Cuba.** Gota a gota, nº 14 (2017): 76-88 Grupo de Espeleología de Villacarrillo, G.E.V.
- Molerio-León, L.F. (2018a): **Gestión de recursos hidráulicos bajo riesgo de terremotos en Ecuador: 1. Sismotectónica.** Ing. Hidráulica y Ambiental, La Habana, VOL. XXXIX, No. 3, Sep-Dic 2018, p. 3-17
- Molerio-León, L.F. (2018b): **Gestión de recursos hidráulicos bajo riesgo de terremotos en Ecuador:**

2. **Evaluación de seguridad.** Ing. Hidráulica y Ambiental, La Habana, VOL. XXXIX, No. 3, Sep-Dic 2018, p. 18-27
- Molerio-León, L.F. (2019a): **Sistemas de monitoreo de las aguas terrestres en yacimientos gasopetrolíferos onshore del trópico húmedo: diseño, operación y optimización.** IX Congreso de Gestión Ambiental, XII Convención Internacional sobre Medio Ambiente y Desarrollo, La Habana, GA-202
- Molerio-León, L.F. (2019b): **Modelo para la disposición final de aguas producidas tratadas de Yacimientos gasopetrolíferos carbonatados en acuíferos cársicos litorales someros salinizados.** Octava Convención de Ciencias de la Tierra, Geociencias 2019. XIII Congreso de Geología (GEOLOGÍA '2019, La Habana: 178
- Molerio-León, L.F. (2020a): **Miembros geoquímicos terminales y de transición de las aguas cársicas de Cuba: I. Aplicaciones del nomograma modificado de Schoeller.** Gota a gota, 21: 81-88. Grupo de Espeleología de Villacarrillo
- Molerio-León, L.F. (2020b): **Miembros geoquímicos terminales y de transición de las aguas cársicas de Cuba: II. Aplicaciones del nomograma modificado de Schoeller - Metodología e Interpretación.** Gota a gota, (22): 13-17.
- Molerio-León, L.F. (2020c): **Modelo para la disposición final de aguas producidas tratadas de yacimientos gasopetrolíferos carbonatados en acuíferos cársicos someros salinizados. 1. Ecuaciones de gobierno.** Argentina Subterránea, 20(47-48):71-74.
- Molerio-León, L.F. (2020d): **Modelo para la disposición final de aguas producidas tratadas de yacimientos gasopetrolíferos carbonatados en acuíferos cársicos someros salinizados. 2. Aplicabilidad del modelo.** Argentina Subterránea, 20(47-48):75-77.
- Molerio-León, L.F. (2020c): **Miembros geoquímicos terminales y de transición de las aguas cársicas de Cuba: 3. Composición isotópica de las aguas de lluvia.** Gota a gota, 22: 70-82
- Molerio León, L.F. (2020e): **Incorporación de la evidencia espeleológica de paleosismos y paleohidrología a la seguridad de los sistemas hidráulicos de América Latina y El Caribe.** Cub@: Medio Ambiente y Desarrollo, 20(38), 2020, 7:
- Molerio-León, L.F. (2021): **Petróleo y Karst: Bases teóricas de una tecnología para la disposición final de aguas producidas tratadas en acuíferos cársicos someros y cuerpos de agua salinizados.** La Habana, 102: <https://www.researchgate.net/publication/351274801>
- Molerio León, L.F., I. M. Fernández Gómez y J. A. Carrazana González (2012): **Radón 222 y Tritio en la identificación y cuantificación de la contaminación por hidrocarburos (LFNA) en las aguas subterráneas. 1. Principios teóricos.** Cub@: Medio Ambiente y Desarrollo; Agencia de Medio Ambiente. 13(24), La Habana, 7:
- Molerio León, L.F., I. M. Fernández Gómez y J. A. Carrazana González (2012): **Radón 222 y Tritio en la identificación y cuantificación de la contaminación por hidrocarburos (LFNA) en las aguas subterráneas. 2. Patrones de <sup>222</sup>Rn, 3H y Cl.** Cub@:Medio Ambiente y Desarrollo; Agencia de Medio Ambiente. 13(24), La Habana, 7:
- Molerio León, L.F., J.C. Torres Rodríguez (2002): **Métodos Geomatemáticos de diseño y optimización de redes de monitoreo de aguas subterráneas.** Ing. Hidr. y Ambiental, La Habana, XXIII (2):38-45
- Núñez Haugh, L.; J.A. Díaz Duque; L.F. Molerio-León (2017): **Indicadores de paleosismicidad derivados de espeleotemas fracturadas en cavernas del Campo Gasopetrolífero de Boca de Jaruco, Mayabeque, Cuba.** XII Congreso de Geología Séptima Convención Cubana de ciencias de la Tierra GEOCIENCIAS '2017.
- Núñez Haugh, L., Díaz Luque, J.A. Y Molerio-León, L.F. (2020): **Indicadores de paleosismicidad derivados de espeleotemas fracturadas en cavernas del campo gasopetrolífero de Boca de Jaruco, Mayabeque, Cuba.** Gota a gota, nº 21: 1-9. Grupo de Espeleología de Villacarrillo
- Schoeller, H. (1956): **Geochimie des eaux souterraines: Application aux eaux du gisement de petrole.** Technip, Paris, 213:
- Schoeller, H. (1959): **Arid Zone Hydrology Recent Developments.** Arid Zone Research-XII. UNESCO, Paris, 125:
- Schoeller, H. (1962): **Les Eaux Souterraines. Hydrologie dynamique et chimique. Recherche, Exploitation et Évaluation des Ressources.** Mason et Cie, Paris, 642:
- Schwartz, F.W., P.A. Domenico (1973): **Simulation of hydrochemical patterns in regional groundwater flow.** Water Reourc. Res., 9:707
- Schwartz, F.W. K. Muehlenbachs, D.W. Chorley (1981): **Flow-System Controls of the Chemical Evolution of Groundwater.** In: W. Back y R. Letolle (Edit), Symp. Geochemistry of Groundwater. 26th Internatl. Geol. Congr., J. Hydrol, 54:225-243
- Tóth, J. (1963): **A theoretical analysis of groundwater flow in small drainage basins.** Journ. Geophys. Res., 68:4795-4812.
- Tóth, J. (1970): **A conceptual model of the groundwater regime and the hydrologic environment.** J. Hydrol.:164
- Tóth, J. (2009): **Gravitational Systems of Groundwater Flow. Theory, Evaluation, Utilization.** Cambridge University Press, New York, 297:
- Wallick, E.J. y J. Tóth (1976): **Methods of regional groundwater flow analysis with suggestions for the use of environmental isotopes.** Interpretation of environmental isotope and hydrochemical data in groundwater hydrology. Proc. Advisory Group Meeting, IAEA, Vienna, Jan 27-31, 1975:37-64