

REVISTA SAI



Sociedad Antioqueña de
Ingenieros y Arquitectos

La Fuerza de la Razón - 1913



@SAIantioquia

Revive las ediciones anteriores, disponibles en nuestra biblioteca SAI



FUNDADOR

Juan de la Cruz Posada

PRESIDENTE

Enrique Posada Restrepo

DIRECTORA EJECUTIVA

Leidy Valencia Heredia

CONSEJO EDITORIAL

Oscar Jaime Restrepo Baena

Enrique Posada Restrepo

Luisa Marulanda Giraldo

DIAGRAMACIÓN

Tatiana Zapata López

Carolina Ramírez Gallego

Luisa Marulanda Giraldo

Sociedad Antioqueña de Ingenieros y Arquitectos

Teléfono: (+57 4) 264 08 32

Celular: (+57) 319 289 66 03

Email: sai@sai.org.co

Dirección: Carrera 81 A Nª48B-44

Medellín - Colombia



Sociedad Antioqueña de
Ingenieros y Arquitectos
La Fuerza de la Razón - 1913

Tabla de contenido

Notas del director Enrique Posada Restrepo.	4
La SAI: 109 años soñando y construyendo la Antioquia de hoy y mañana.	6
Conectividad y prosperidad	11
En defensa de la minería	13
Manifiesto de la sociedad antioqueña de Ingenieros y arquitectos SAI sobre la protección, valoración y disfrute de los bienes patrimoniales	15
La ciencia y las tecnologías termonucleares se acercan a la posibilidad energética de un reactor de fusión termonuclear de hidrógeno para producir energía eléctrica limpia e inagotable, antes del año 2050 como primer sol artificial	18
Por qué no se cumplen los presupuestos y plazos iniciales en los contratos estatales de obras	20
De los caminos de herradura a las autopistas 4g, Antioquia se abre al mar ...	25
Mecanismo de falla asociado a presión hidrostática en deslizamientos profundos en laderas de alta pendiente del Valle de Aburrá	35
Hacia el desarrollo de parques tecnológicos ambientales para la disposición final de residuos municipales: visión estratégica.....	47
Aportes y apuestas de la Universidad Católica de Oriente al sector aeroespacial	52
Naturaleza de las fuentes de contaminación atmosférica por material particulado en el Valle de Aburrá – análisis de los episodios y de la cuarentena del Covid en marzo de 2020	59
Modelación de las regiones y el país. Escenarios, simulaciones y resultados....	75
Normas de publicación Revista SAI.....	97



NOTAS DEL DIRECTOR ENRIQUE POSADA RESTREPO

Con esta edición damos nuevo inicio a la publicación de la REVISTA DE LA SAI. En mi calidad de actual presidente de la Sociedad Antioqueña de Ingenieros y Arquitectos, cargo que ejerzo hasta finales de 2022, tuve la fortuna de impulsar el relanzamiento de nuestra revista, con pleno apoyo de nuestra Junta Directiva y con el soporte de la dirección técnica de la SAI, actualmente a cargo de la ingeniera ambiental Luisa Marulanda, y hasta hace poco, de la ingeniera química Marta Builes. La Ingeniera Marta tuvo la responsabilidad de gestionar todo lo relacionado con conseguir las contribuciones de los autores que hacen honor a nuestra primera edición en esta nueva etapa.

Al personal de la SAI que ha intervenido en los distintos aspectos de esta edición, nuestro reconocimiento. Para nuestros colaboradores, un gran agradecimiento por esos aportes pioneros, que se constituyen en una invitación todos los socios y a los amigos de la SAI para que mantengamos activa la revista con sus contribuciones. Tenemos la firme decisión de publicar una edición de la revista al final de cada semestre, de tan manera que tendremos dos números anuales. Reciban entonces ustedes nuestra invitación a mandar sus trabajos para la edición del primer semestre antes del 15 de abril de cada año y para el segundo semestre antes del 15 de septiembre de cada año.

Consulten en esta edición las normas de publicación, las cuales también estarán disponibles en nuestra página web de la SAI y en la dirección técnica de nuestra sociedad

Queremos publicar en cada edición:

Artículos con opiniones, ensayos y reflexiones de fondo sobre temas esenciales y vitales para la ingeniería y la arquitectura, los proyectos importantes y los asuntos de importancia.

Notas históricas, crónicas, notas sobre personajes importantes, sobre empresas y entidades, y sobre proyectos importantes, para registrar hitos de nuestras profesiones, de sus proyectos y de la actividad empresarial e institucional.

Notas culturales que ilustren y amplíen la visión interdisciplinar e integral y que destaquen los ricos aspectos estéticos, artísticos, literarios, históricos que dan calidad de vida a la región y a las actividades de nuestras profesiones.

Notas técnicas y científicas ilustrativas, que destaquen y divulguen los avances en la ciencia, en la tecnología, en el estado del arte de los temas que atañen a nuestras profesiones.

Artículos técnicos y científicos que se refieran a estudios, investigaciones, avances, desarrollos, sean originales o de divulgación. En el primer caso, serán sometidos a revisión de pares.

Nuestra revista será publicada digitalmente, con la posibilidad futura de imprimir cantidades limitadas, en caso de lograr el patrocinio respectivo, para distribución limitada. Nuestra idea es evolucionar continuamente con la revista, registrarla dentro de los sistemas que acogen este tipo de revistas, para llevarla cada vez más a lograr una posición valiosa en nuestro

medio, como un vehículo de expresión de todos aquellos que deseen compartir sus conocimientos, experiencias valiosas y reflexiones en temas relacionados con nuestro gremio y nuestras profesiones y sus proyecciones y logros. Igualmente deseamos que sea un medio para divulgar a nuestros empresarios y a sus proyectos comerciales y negocios, a través de la publicidad, con la idea también de generar algunos recursos para la SAI, además de cubrir los costos que pueda tener este esfuerzo editorial.

Esperamos que la propuesta sea atractiva para todos ustedes, de manera que nos apoyen en todas las formas posibles, con publicidades, difusión y participación

ASÍ FUE NUESTRO 2022



**Seminario Sobre Bosques,
Conservación y clima**



**IV Conferencia
Panamericana Waste to
Energy**



**VI Seminario de Centrales
Hidroeléctricas y Sistemas
de Generación de Energías**



**Seminario de Gestión y
Protección Patrimonial**



**IV Seminario Internacional
de Ferrocarriles y
Transporte Sostenible**



**Seminario Sobre Sistemas de
Información y Datos**

LA SAI: 109 AÑOS SOÑANDO Y CONSTRUYENDO LA ANTIOQUIA DE HOY Y MAÑANA

La Sociedad Antioqueña de Ingenieros y Arquitectos fue fundada el 27 de agosto de 1913 con motivo de la celebración del Centenario de la Independencia de Antioquia y con el fin de promover el estudio de la Ingeniería en todas sus ramas, ser cuerpo consultivo del Estado y fomentar la fraternidad entre los ingenieros de Antioquia.

Nació como un instituto científico con residencia en Medellín, producto de las inquietudes de un grupo de estudiantes de los últimos semestres de Ingeniería de la Facultad de Minas que, preocupados por el incipiente desarrollo del departamento en materia de obras y servicios públicos, se embarcaron en el proyecto de crear una organización que liderara e hiciera respetar la profesión. Los arquitectos se sumarían en 1971 a ese sueño primigenio.

La primera reunión de la SAI, con motivo de los 100 años de la Independencia de Antioquia y en la cual se estableció su rumbo, se llevó a cabo en la Casa de Gobierno de Antioquia. Asistieron: Jorge Rodríguez, Tulio Ospina, José Ma. Escovar, Alejandro López, Carlos Cock, Vicente Villa, José Ma. Jaramillo M., Enrique Olarte, Dionisio Lalinde, Francisco A. González, Eleazar Arango, Pedro Rodríguez M., Horacio M. Rodríguez, Germán Jaramillo Villa, Teodosio Ramírez, Luis Johnson, Mariano Roldán, Florencio Mejía, Fernando Escobar, Francisco Rodríguez Moya, Roberto Luis Restrepo, Neftalí Sierra, Carlos Vallejo, Pedro Luis Jiménez, Alejandro Londoño G., Julián Cock, Ricardo Isaza S., Antonio Villa, José Ramírez Jhons, Gabriel Sanín Villa, Álvaro Mejía, Francisco Acebedo, José Ma. Mejía Jaramillo, Juan E. Ángel, Santiago Londoño R., Gabriel Pérez T., Roberto Vélez, Martín Acevedo y Víctor M. Garcés.

Aquellos pioneros, dirigidos por el ingeniero Juan de la Cruz Posada, primer presidente de la organización, asumieron su compromiso y, en las primeras décadas del siglo XX, convirtieron a la SAI en una institución de prestigio, referente en Antioquia en temas de obras civiles, administración pública, planeamiento y desarrollo económico.

“No está en nuestro ánimo ostentar erudición ni pretender deslumbrar con nuestras producciones. Queremos solamente ofrendar a la Patria las primicias de nuestra experiencia en el ilimitado campo de las ciencias y de las industrias”, lo señalaron así en los estatutos aprobados en 1914.

De allí en adelante, la SAI emprendió un camino de trabajos y realizaciones bajo criterios e ideales que hoy, en 2022, siguen vigentes. Siempre miró hacia el futuro, con atención en el presente, tratando de anticipar los desafíos del desarrollo. Apoyada en rigurosos estudios académicos, la SAI fue artífice de gran cantidad de proyectos que hoy forman parte de la historia más importante de Colombia.

Diagnósticos iniciales y retos posteriores

En sus primeros años, la SAI funcionó como un grupo de estudio que identificaba problemas y proponía soluciones. El tópico de estudio más importante en sus primeros años fue el de los trenes. Fueron numerosas las reuniones y conferencias que giraron en torno a los ferrocarriles de Urabá, de Amagá y de Antioquía.

A pesar de la II Guerra Mundial y la crisis económica global, en los años treinta/cuarenta/cincuenta, la SAI participó en estudios y toma de decisiones sobre la construcción de obras importantes para la infraestructura de Antioquia y del país, como las carreteras nacionales y departamentales, que permitió que todos los ingenieros civiles en Colombia tuvieran empleo.

A mediados de siglo XX la SAI se enfocó en la solución de los problemas derivados del aumento poblacional: acueducto, energía, transporte y educación.

Durante la década de 1950 a 1960, su trabajo cobró mayor relevancia al participar en un alto número de obras de infraestructura y en decisiones de carácter económico y político, como la venta del Ferrocarril de Antioquía a la Nación, sobre lo cual la Sociedad consideró que era un negocio conveniente para ambas partes.

Tuvo la SAI un diálogo permanente con el Ministerio de Obras Públicas para emitir conceptos sobre las carreteras del departamento.

Entre 1960 y 1970 la SAI empezó a darle mayor importancia al tema de mejoramiento de las condiciones económicas de los ingenieros. En estos años difundió los primeros estudios sobre la aplicación de métodos de planeación como la CPM y PER en la industria de la construcción.

También en este período la SAI se abocó al problema de la vivienda en Medellín e intervino con conceptos técnicos en la remodelación del Parque de Berrío.

En materia de educación, asesores de la SAI ayudaron, en el año de 1964, a la elaboración del pensum y programas de materias para el naciente Instituto Politécnico. También la Sociedad promovió el diálogo interuniversitario, con el cual se buscaba mejorar la enseñanza de la ingeniería en las instituciones de Educación Superior.

Simultáneamente, la SAI fue defensora de la ingeniería nacional frente a las firmas extranjeras. Visibilizó los problemas de los profesionales colombianos, como sus limitaciones en tecnología, conocimiento y otras metodologías, que los hacían menos apetecidos por las empresas locales, lo que se traducía en precios más altos.

Tuvo mucho que ver la SAI con la regulación de la profesión de la ingeniería. Así, asesoró a las universidades en la creación de nuevos programas y modificación de otros y celebró cursos y conferencias que ayudaron a direccionar la formación académica y profesional en Antioquia.

La SAI hizo todo lo posible para convencer a los ingenieros de que se tuvieran confianza y se sintieran capaces de crear, progresar y ofrecer las soluciones adecuadas a los problemas colombianos. De igual manera, infundió en sus asociados la idea de que el trabajo es riqueza y que con él se contribuye a combatir la pereza, el ocio, el afán desmedido por el dinero y el éxito fácil. Paralelamente propugnó por la formación ética de los ingenieros y por eso creó un Tribunal de Honor.

Y llegaron los arquitectos

El primero de enero de 1971 la SAI cambió su nombre por el de Sociedad Antioqueña de Ingenieros y Arquitectos. Se sumaron así profesionales de una rama que siempre ha estado muy cerca de la ingeniería, tanto que es difícil concebir la una sin la otra.

En las décadas siguientes los temas de la ingeniería antioqueña, como ferrocarriles, energía eléctrica, carreteras y aeropuertos, se volvieron cada vez más desafiantes para la región y la SAI estuvo presente para enfrentarlos. Se hizo veeduría al Aeropuerto Olaya Herrera, se asesoró la desviación de la Troncal de Occidente, se diseñó una metodología de tráfico de carga por carretera, la redacción del proyecto de ley para la creación del Fondo Eléctrico Nacional y el proyecto de ley de sobretasa al servicio de energía eléctrica.

Igualmente, en los finales del siglo, la SAI se centró un poco más en la veeduría de grandes proyectos de infraestructura e hizo conocer obras que eran vitales para la región, como la vía Medellín–Bogotá, el Aeropuerto José María Córdoba, el Plan de Desarrollo de Urabá, el Tren Metropolitano de Medellín (Metro) y el plan de El Poblado sobre valorización municipal. Todos ellos se empezaron a ejecutar y la Sociedad formó parte de su desarrollo.

La ingeniería del nuevo siglo

A finales del siglo XX y comienzos del XXI el mundo en el cual había nacido la SAI se transformó radicalmente. La ingeniería se diversificó y surgieron decenas de ramas especializadas, con nuevas tecnologías, acceso a computadores e Internet. El mundo exige ahora nuevos servicios y nuevas soluciones para nuevos problemas. Sin embargo, en esencia, los objetivos de la SAI se mantienen vigentes, el primero de ellos: fomentar el estudio de las ciencias y sus aplicaciones en pro del desarrollo de la Ingeniería y la Arquitectura, como también el progreso de Antioquia y de Colombia.

En los últimos 22 años la SAI ha continuado participando con gran ímpetu en los diferentes ámbitos sobre los que se asienta el progreso de la región y del país: planeación de ciudades, construcciones civiles, centrales hidroeléctricas, energías renovables, transporte masivo, medio ambiente y educación, entre otros. De allí que cada año, en el mes de noviembre, premie y exalte lo mejor de la Ingeniería y la Arquitectura de Antioquia.

Para el estudio, análisis y propuestas sobre todos los temas que atañen a la Ingeniería y a la Arquitectura se han constituido dentro de la SAI distintas comisiones y capítulos, que se reúnen semanalmente y también realizan visitas técnicas a diferentes empresas, obras y proyectos de diferentes municipios del departamento. Inclusive, se han enviado grupos a

países como Costa Rica, Panamá, España y otros para conocer procesos, metodologías y tecnologías.

En marzo de 2020 la pandemia por Covid 19 obligó a la SAI a trasladar sus actividades a la virtualidad, fue así como se estableció una nueva forma de conexión con socios, aliados y público general. Los “Martes de la SAI” tienen ahora su espacio natural en YouTube y se creó el Jueves Cultural, que se presenta cada quince días en ese mismo canal.

Un paso novedoso y gigantesco fue la organización de más de 20 seminarios y cursos a través de una plataforma digital especial que atrajo a una audiencia de centenares de personas y que permitió tener ponentes y espectadores en cualquier rincón del planeta. También de forma virtual se siguieron realizando las reuniones de la Junta Directiva, así como los encuentros de los diferentes capítulos y comisiones.

El regreso a la normalidad potenció el acercamiento de la SAI con sus audiencias, de forma presencial y virtual. La SAI hizo alianza con la Universidad Pontificia Bolivariana, que facilita el auditorio del Fórum Monseñor Tulio Botero Salazar para hacer los eventos presenciales. Seminarios y foros han congregado a decenas de personas en este escenario universitario, donde se han tratado diferentes temas, como túneles, riesgos en obras civiles, centrales hidroeléctricas, valorización de residuos sólidos, patrimonio, ferrocarriles, entre otros, con una excelente acogida.

El pasado mes de agosto la SAI cumplió 109 años de fundada, 109 años de una historia que comenzó como un sueño romántico de unos jóvenes que no veían las verdes montañas como obstáculos infranqueables para la modernidad, sino como un reto que, con trabajo y rectitud, se dominarían y se forjaría el futuro de Antioquia. Y así ha ocurrido. La SAI ha contribuido a conducir a Antioquia al futuro. Hoy más que nunca, la SAI es Ingeniería Viva y Arquitectura Viva.

Presidentes de la SAI

#	Nombre	#	Nombre	#	Nombre
1	Juan de la Cruz Posada (1913–1915)	14	Francisco Arango Arango (1969–1970)	27	Jairo Sierra Múnera (1992–1993)
2	José María Escobar (1915–1919)	15	Darío Suescún Gómez (1970–1971)	28	Marco Alberto Jaramillo Guzmán (1993–1994)
3	José María Bernal (1945–1948)	16	Gabriel Poveda Ramos (1972–1973)	29	Horacio Pérez Correa (1995–1996)
4	Ignacio Ospina Cárdenas (1948–1953)	17	Pedro Juan Moreno Villa (1974–1976)	30	Luis Guillermo Gómez Atehortúa (1997–1998)
5	Hernán Arango Mejía (1953–1954)	18	José María Prada Girón (1977–1978)	31	Javier Aristizábal Jaramillo (1998–1999)

#	Nombre	#	Nombre	#	Nombre
6	Ignacio Arango Álvarez (1954–1956)	19	Carlos Ignacio Restrepo Arango (1979–1980)	32	Álvaro Villegas Moreno (1999–2000)
7	Jorge Pérez Romero (1956–1957)	20	Alberto Piedrahita Muñoz (1981–1982)	33	Neftis Cardona Tirado (2001)
8	Raúl Alberto Isaza (1958–1959)	21	Alberto Piedrahita Barrientos (1982–1983)	34	Eduardo Vélez Toro (2002)
9	Rodrigo Restrepo Londoño (1959–1960)	22	Sergio Betancur Palacio (1983–1984)	35	Álvaro Villegas Moreno (2003–2013)
10	Guillermo Hincapié Orozco (1960–1963)	23	Jorge Ignacio Paz Parra (1985)	36	Diego Zapata (2014)
11	Víctor Suarez Vásquez (1963–1964)	24	Martiniano Urrego (1985–1986)	37	Martín Alonso Pérez (2015–2018)
12	Darío Moreno Restrepo (1964–1965)	25	Johel Moreno Sánchez (1986–1988)	38	Enrique Posada Restrepo (2019–Actual)
13	Oscar Restrepo D'Alemán (1966–1968)	26	Álvaro Vásquez Osorio (1989–1992)		



Este libro se publicó en el mes de mayo de 2021 bajo la dirección de la Sociedad Antioqueña de Ingenieros y Arquitectos - SAI

Han participado en la elaboración de este texto la comisión de Arquitectura, Ciudad y Territorio, Comisión de Competitividad, Comisión Mecatrónica e Inteligencia Artificial (Cuarta Revolución Industrial), Capítulo Ingenieros Mecánicos, Aeronáuticos, Eléctricos y afines y nuestra presidencia y las direcciones ejecutiva y técnica y miembros de la Junta Directiva.

CONECTIVIDAD Y PROSPERIDAD

Jaime Ramírez

Ingeniero civil, Universidad Nacional, sede Medellín, Colombia

RESUMEN

Se resalta la importancia de que las modernas vías que se vienen construyendo en el país, con su gran relevancia como proyectos estratégicos, tengan en cuenta la conectividad real con las comunidades y municipios, de manera que las vías actuales de conexión sean transformadas, a vías con mejores alineamientos, curvaturas, tangentes y pendientes, para unas velocidades promedio de 50 km/hora y con una calzada doble vía como mínimo, con sus bermas de parqueo. Se enfatiza también que debe resolverse el problema serio de conectividad vial en el arribo a las ciudades principales

Palabras clave: Vías, conexiones, conectividad, ciudades, municipios, especificaciones, calidad, diseño, prosperidad

Las vías cuyo largo proceso de más de 20 años, sumando el esfuerzo privado y público logrando habilitar el cruce por suelo antioqueño de las vías troncales del País, la Occidental desde el Sur en Nariño, hasta llegar al Norte en Bolívar, Atlántico, Magdalena y Guajira, y la Transversal del País desde Boyacá y Santanderes, hasta el Choco y el Urabá, son el resultado de un gran esfuerzo de varias administraciones nacionales, departamentales y municipales, guiadas por la Cámara de Comercio de Medellín y las asociaciones de profesionales respectivas, cuyo resultado se denominó al principio como Autopistas de la Montaña, luego de varias intervenciones pasaron a ser Las Autopistas para la Prosperidad y al final se marcaron como las Autopistas 4G, incorporando otros proyectos en el País. Antioquia en especial, ha iniciado parcialmente la operación de varias de ellas, algunas ya terminadas, como Pacífico 2, y Mar 1, otras aún en construcción como los Pacíficos 1 y 3, Mar 2, Enlace Santafé, Cañas Gordas, doble calzada en el puente sobre el Rio Cauca, en Santafé y el puente de Conexión de Bolombolo y las Autopistas del Nordeste Antioqueño.

Todas ellas son vías muy importantes, como Proyectos Estratégicos, si entran a prestar los servicios de habilitar la circulación de todos los productos de nuestro territorio. O sea, si prestan el servicio de Conectividad de las comunidades del territorio Nacional, y en este caso departamental, entre los municipios, no solo los que están dentro de sus alineamientos, sino aquellos situados, aun afuera de su faja de construcción, pero dentro del territorio recorrido, para atender la comercialización correcta de sus productos agrícolas y llevarles los insumos necesarios para su producción y subsistencia, así como facilitar el turismo.

Todavía hay problemas de conectividad. La falta de conectividad se manifiesta, en la mayoría de ella, con los municipios y sus poblados. Hoy estos nexos son los basados en los accesos ancestrales, cuya construcción se realizó ampliando los caminos reales a pico y pala, posteriormente con algunos equipos de construcción para movimiento de tierra y pontones para vadear las corrientes de agua que impedían su flujo continuo, y poder transportar las

mercancías, que llegaban a la estación ferroviaria de la zona, ampliadas a medida que los vehículos de carga y transporte de pasajeros fueron aumentando sus medidas y capacidades, así como la atención a mayor número de pueblos vecinos

Para poder gozar a plenitud de los avances deseables, es necesario que estas vías a los municipios, sean transformadas, a vías con mejores alineamientos, curvaturas, tangentes y pendientes, para unas velocidades promedio de 50 km/hora y con una calzada doble vía como mínimo, con sus bermas de parqueo. En este forma se logra producir menores costos del transporte de toda clase y recibir los camiones y buses que circulan hoy por nuestras vías arterias, eliminando los riesgos de accidentabilidad actuales, mejorando las condiciones económicas de las regiones agrícolas, mineras, ganaderas etc., a las cuales cruzan, y revalorizando así mismo esas tierras, creando nuevos frentes de trabajo, tanto en las obras como en la región, facilitando el turismo nacional e internacional, con menores costos y consumos de combustibles, llantas, etc..

Mientras los responsables de ejecutar estos avances, no los realicen, no podremos beneficiarnos realmente del gran esfuerzo de lo ejecutado a hoy.

El otro problema serio de esta conectividad vial, es el que existe en su arribo a las ciudades principales, que no están planificadas para recibir y ser atravesadas por estos tráficos. Por lo tanto, el problema se traslada a perder en la ciudad el tiempo ganado en la vía, congestionando el tráfico interno ciudadano. En el caso de Medellín, es un problema de gran envergadura, que no se resuelve con paños de agua tibia, utilizando las únicas vías longitudinales del Valle de Aburrá y las cuales fueron construidas 50 años atrás.



**Ferrocarriles y
transporte sostenible**
Septiembre 2023

Organiza:  Sociedad Antioqueña de
Ingenieros y Arquitectos
LA FUERZA DE LA RAZÓN - 1913

 FISE  CÁMARA DE COMERCIO
DE MEDELLÍN

 CIDET

EN DEFENSA DE LA MINERÍA

Juan Gómez Martínez

Ingeniero Eléctrico, Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, Colombia

RESUMEN

Se resalta la importancia de la minería en todos los campos de la actividad humana, a través de la historia y en la modernidad. Se enfatiza la importancia de la minería formal. Se señala el papel negativo que los extremismos hacen, con su oposición ciega al progreso,

Palabras clave: Minería, defensa, historia, empresas, buenas prácticas, extremismo

Primero quiero comentar lo que toda la vida hemos escuchado: “Todo en exceso es dañino”. Este dicho contiene mucha sabiduría aplicable a la vida moderna. Los excesos, sin control alguno, hacen daño.

Pero, hablando de la minería, quisiera recordar algo de historia ¿Qué sería de la humanidad si no hubiera existido la minería? La prehistórica edad de piedra sirvió para elaborar utensilios y, con ellos cultivar la tierra, además para la producción de armas de contusión. Todo ello gracias a la extracción y utilización de este mineral. Llega después la edad del bronce en el milenio entre 3200 y 2200 antes de Cristo. Este milenio fue de gran desarrollo material y cultural en beneficio de la humanidad. La edad del bronce, ya como producto de la aleación de metales que sirvió también para la producción de armas, utensilios para las labores del hogar, las artes y muchas otras actividades. Después de esta etapa, llegó la edad del hierro que definitivamente revolucionó la cultura, la industria, la costumbre y las labores del hombre. Nos podemos preguntar ¿qué sería de la humanidad sin el hierro?

La minería fue la formadora de la humanidad.

Ahora, mucha gente se opone a la minería en general. No hablan de la minería sin control para oponerse a ella, la oposición es a la minería, controlada y tecnificada o no controlada. Se oponen, a ciegas, a todo lo que sea minería.

Si Dios nos dio un subsuelo rico en minerales, es casi una obligación explotarlos para el beneficio de Colombia y de los colombianos. Una minería controlada es benéfica para dar empleo, para fortalecer las finanzas de los municipios, para el desarrollo del país y de sus regiones. Oponerse a ella es un crimen contra Colombia.

Si la oposición es a la minería sin control, estoy de acuerdo con esa oposición, pero no a una minería bien manejada y controlada. Es que todas las actividades sin control son perjudiciales. Veamos: la comida es indispensable para la vida, pero si comemos sin ningún

control se convierte en algo muy peligroso para la salud. El ejercicio es necesario y benéfico para mantenerse bien, pero un ejercicio en exceso y sin control se convierte en algo muy dañino para quien lo practica. El sueño es necesario para la salud, para las actividades de cada día, pero el sueño en exceso nos convierte en unos perezosos y zánganos

Si pasamos por el Bajo Cauca, vemos en qué se están convirtiendo esas tierras. Se están convirtiendo en unos desiertos gracias a la minería sin control alguno. No es a causa de la minería en sí, es producto de una actividad sin control oficial y la culpa es de las autoridades que no hacen nada para un control eficiente. Si vamos a Buriticá, encontramos una minería bien manejada, controlada, aunque hay algunos lunares que hay que controlar. Minería sí, pero bien manejada y con un control estricto por parte de las autoridades.

Yo me siento en la sala de cualquier hogar, me pongo a mirar lo que en ese recinto hay y concluyo que nada habría allí si no existieran las minas y la explotación de ellas. El piso y las baldosas, todo producto de minerales. La lámpara de metales extraídos de minas. Los bombillos con vidrio producto de las minas. Los filamentos, de los mismos, minerales. Los muros de ladrillo y cemento, minerales. El cobre que lleva la energía a los bombillos, mineral. Miro los muebles, madera de los vegetales, pero elaborada con herramienta de metales extraídos de las minas. ¿Qué sería de la humanidad sin minas?



**MANIFIESTO DE LA SOCIEDAD ANTIOQUEÑA DE
INGENIEROS Y ARQUITECTOS SAI SOBRE LA PROTECCIÓN,
VALORACIÓN Y DISFRUTE DE LOS BIENES PATRIMONIALES**

Martín Alonso Pérez
Arquitecto

RESUMEN

Como culminación del Seminario sobre Gestión y Protección Patrimonial y como culminación del Foro final del evento, realizado el 16 de Septiembre de 2022, se leyó públicamente un manifiesto de de la SAI que resume las conclusiones fundamentales del evento y expresa la posición de la SAI sobre este tema fundamental para la región.

Palabras clave: Patrimonio, urbanismo, ciudades, respeto, cuidado, bienes, planeación, valoración, cuidado, política pública, buenas prácticas, cultura

SOCIEDAD ANTIOQUEÑA DE INGENIEROS Y ARQUITECTOS SAI

MANIFIESTO

**ARQUITECTURAS Y CIUDADES RENOVADAS, RECICLADAS, Y
RESTAURADAS**

El futuro que nos espera.....

El mundo contemporáneo, con sus crisis e incertidumbres, nos están obligando a desarrollar nuevas capacidades para enfrentarlas, y de esta manera mantener la continuidad de la civilización humana; es decir, desarrollar capacidades para la supervivencia, ya no desde el dolor y el sufrimiento (qué no van a desaparecer), sino, desde la consciencia, la inteligencia y la creatividad, que nos deben permitir dar el salto hacia la cualificación del hábitat humano, en equilibrio y armonía, con el entorno social, ambiental y económico.

Y dentro de este contexto, las arquitecturas y las ciudades que habitamos, debemos renovarlas, reciclarlas, y restaurarlas, no hay otro camino, ya se viene haciendo, pero se debe acelerar el proceso, desde la Protección, Valoración y Disfrute de los Bienes Patrimoniales; y para qué esto siga sucediendo debemos tener en cuenta los siguientes postulados, que establecemos en este MANIFIESTO, fruto de este encuentro académico, organizado por la Sociedad Antioqueña de Ingenieros y Arquitectos SAI, su Comisión de Arquitectura, Ciudad y Territorio, sus aliados la Academia Antioqueña de Historia, la Fundación Ferrocarril de Antioquia, la Escuela de Arquitectura y Diseño de la Universidad Pontificia Bolivariana UPB, la Facultad de Arquitectura de la Universidad Nacional sede Medellín, el Centro de

Estudios Territoriales de la Universidad Católica del Oriente UCO, el Instituto de Cultura de Antioquia, y la Agencia para la Gestión del Paisaje, el Patrimonio y las Alianzas Público Privadas APP del Distrito de C.T.I. - Medellín.

1. Una lectura inteligente de la singularidad del territorio que se desea proteger, valorar y disfrutar, nos da las pautas de las intervenciones a desarrollar, NO MÁS improvisaciones y falta de rigor, la naturaleza nos exige día a día estudiar sus comportamientos - fenómenos y medir sus consecuencias.
2. Las preguntas por la CIUDAD que hemos construido, que estamos construyendo y que queremos construir, nos definen el Cómo Renovarla, Reciclarla, y restaurarla, en otras palabras, hay que hacer las cosas mejor, debemos asumirla como el más valioso patrimonio de la humanidad, que permita de manera efectiva seguir construyendo “Ciudadanos que ejercen su Ciudadanía”.
3. El Ordenamiento y Desarrollo del Territorio que habitamos, urbano y rural, debe ser lo más sencillo posible, con normas prácticas, que permitan una mejor gestión desde lo público y lo privado, y que a su vez se materialicen los dos factores esenciales del ejercicio de la “Ciudadanía”: “Que en el lugar donde vivo, trabajo, estudio y me divierto pueda estar seguro y ser feliz”.
4. Que exista la necesidad de los habitantes de cualquier sector de la ciudad de mejorar su condición de vida, renovando y reciclando su vivienda, su edificio o barrio, con valores patrimoniales, sin que, al hacerlo, su condición se le convierta en una carga económica, familiar y social.
5. Qué halla voluntad y continuidad política para querer mejorar sectores urbanos y edificaciones deteriorados, con valores patrimoniales, la tarea es compleja y exige mucho rigor y talento.
6. Que se involucren a los que saben estructurar, diseñar y ejecutar proyectos de intervenciones en bienes patrimoniales, tanto arquitectónicos, como urbanísticos, y paisajísticos; equipos creativos y técnicos procedentes, tanto del sector público como del privado.
7. Exigir que las intervenciones en los bienes patrimoniales sean consecuencia del uso adecuado de las normas emanadas del Plan de Ordenamiento Territorial, de tal manera que refleje coherentemente la aspiración de tener una sociedad incluyente, un sistema político construido desde el respeto a la libertad, la democracia liberal, el estado de derecho y de deberes, y una economía dinámica y diversa sustentada en el respeto a la propiedad privada, a la libre empresa, al libre mercado, con responsabilidad social y ambiental.
8. Asumir que la Valoración Económica de los bienes patrimoniales, ya sean ambientales, urbanos o arquitectónicos, son la clave de su sostenibilidad en el tiempo. La Conservación Patrimonial debe ser un buen negocio.

9. Crear todas las condiciones para acelerar los compromisos con los sectores públicos y privados, que permitan proteger, valorar y disfrutar de todos nuestros bienes patrimoniales, de manera permanente, responsable y solidaria.

10. La calidad de nuestro entorno natural, urbano y arquitectónico, solo será posible si lo asumimos como patrimonio, valorando sus atributos singulares, pero, ante todo, convertirlo como parte esencial de nuestra memoria, de nuestra cultura, de nuestra trascendencia.

Con este llamado queremos sumarnos a la Red Global, que, bajo el liderazgo de la UNESCO, de proteger la diversidad que encarna la civilización humana, y su responsabilidad de protegernos, junto con las demás formas de vida de nuestro planeta Tierra. Los momentos que vivimos nos obligan a tener en cuenta para gestionar los bienes patrimoniales a futuro, los siguientes temas: Consciencia Histórica – Gestión de la Memoria y el Patrimonio Cultural, Modernidad, Postmodernidad, Deconstrucción, Alta Tecnología, Obsolescencia Programada, Cambio Climático, Sostenibilidad, Consciencia Fáctica – Gestión del Presente, Bioarquitectura, Inteligencia Artificial, Singularidad Tecnológica, Consciencia Prospectiva – Gestión del Futuro, y Supervivencia.

Comisión Arquitectura, Ciudad y Territorio

Coordinador

Martín Alonso Pérez
Arquitecto

**XVIII Seminario
Andino de Túneles y
Obras Subterráneas**

Octubre 4, 5 y 6 del 2023

Organiza: Sociedad Antioqueña de
Ingenieros y Arquitectos
La Fuerza de la Razón - 1913

LA CIENCIA Y LAS TECNOLOGÍAS TERMONUCLEARES SE ACERCAN A LA POSIBILIDAD ENERGÉTICA DE UN REACTOR DE FUSIÓN TERMONUCLEAR DE HIDRÓGENO PARA PRODUCIR ENERGÍA ELÉCTRICA LIMPIA E INAGOTABLE, ANTES DEL AÑO 2050 COMO PRIMER SOL ARTIFICIAL

Francisco G. Restrepo

Ingeniero Mecánico UPB, M Sc. MIT, Dr. en Ingeniería. UPB

RESUMEN

Se describen los avances que se están logrando en la generación de energía útil a partir de las tecnologías termonucleares, fruto del trabajo colaborativo internacional. Se plantea que en esta forma se puede considerar como realista la meta de resolver de manera sostenible y limpia, los desafíos actuales sobre la generación de energía.

Palabras clave: Energía, fusión, tecnología, investigación, colaboración, energía limpia, historia, perspectivas, tecnología termonuclear.

Durante el VI Seminario SAI sobre Centrales Hidroeléctricas realizado por la SAI en agosto 13 al 15 de 2022, se presentó este trabajo con el fin de hacer una mirada retrospectiva al difícil camino transitado en el mundo cuántico y tecnológico para lograr conquistar el poder termonuclear del hidrogeno y así, desarrollar en el futuro un generador eléctrico comercial, para la producción de energía útil de manera casi inagotable y limpia ambientalmente como como lo hacen las estrellas en su seno.

Como antecedente en el campo de la Física Nuclear de Fisión, después del nacimiento de la Era Atómica con las explosiones de las primeras bombas atómicas al final de la II Guerra Mundial en 1945, los científicos e ingenieros iniciaron investigaciones con el fin desarrollar un Reactor Atómico basado en la Fisión Nuclear controlada de átomos pesados como el Uranio y el Plutonio, para generar calor y por medio de este, evaporar agua para mover una turbina de vapor que accionara un generador eléctrico que produjera electricidad comercial para alimentar los circuitos urbanos e industriales de los EUA. El primer reactor comercial de energía nuclear de fisión entró en servicio en Shipping Port en 1957. Prontamente los EUA y países avanzados como Francia, Reino Unido, Unión Soviética, España, Alemania y Japón, entre otros, iniciaron la instalación apresurada de Reactores Nucleoeléctricos en razón de sus características y ventajas sobre las plantas termoeléctricas convencionales basadas en el uso de combustibles de origen fósil como el carbón, gas natural y otros derivados del petróleo. A pesar de las estrictas normas de seguridad de las plantas atómicas para generar electricidad con fines comerciales, al paso de los años se presentaron muy graves accidentes con escapes radioactivos al ambiente como fueron: Three Miles Island en los EUA en 1979, Chernobil en la entonces Unión Soviética en 1986 y Fukushima Japón en 2011. Estos graves accidentes han precipitado el retiro progresivo del servicio de estas centrales atómicas y ha

llevado a mejorar substancialmente la seguridad nuclear de estas plantas y en toda la industria nuclear anexa desde la obtención y enriquecimiento del material fisiónable, su transporte, operación de plantas atómicas y la disposición final de los residuos radiactivos una vez que salen de servicio,

Hoy dadas las nuevas situaciones de alcance planetario por el calentamiento global consecuencia del aumento exponencial de las emisiones de CO₂ descargadas en la atmósfera por el uso creciente de los combustibles fósiles que lo generan como el carbón, gas natural, y derivados del petróleo, principalmente y ante los graves riesgos de la Energía Nuclear de Fisión anteriormente mencionados se ha entrado en una era de transición energética hacia aquellas fuentes más limpias como la solar, eólica, hidroelectricidad y al Hidrogeno como combustible. Existen otras todavía fuentes en etapa de teoría, experimental y aun especulativa, pero la energía termonuclear del Hidrogeno se perfila ya en el siglo XXI como la última fuente de energía de carácter limpio, eterna e inagotable por el fenómeno de fusión termonuclear que ocurre en el seno de nuestro sol y de las estrellas en el universo. Nuestro sol es una inmensa esfera de Hidrogeno y por la enorme presión ejercida en su centro por la fuerza de gravedad solar, genera la fusión termonuclear de los átomos de Hidrogeno en átomos de Helio desprendiendo enormes cantidades de energía térmica radiante que sale como luz y radiación al espacio y planetas circundantes en sus orbitas. Durante la fusión termonuclear parte de la masa del sol M se convierte en energía radiante E según la ecuación propuesta por Albert Einstein $E = M \times C^2$.

Durante los años 50s del siglo pasado científicos soviéticos hicieron los primeros planteamientos teóricos y experimentos de la Fusión Termonuclear en el Instituto Kurchatov de Moscú, llegando a proponer un prototipo de cámara toroidal electromagnética para generar plasma procedente de la Fusión Termonuclear del isotopo liviano del Hidrogeno llamado Deuterio a muy altas temperaturas y que se llamó TOKAMAK, del acrónimo ruso equivalente: cámara toroidal al vacío con calentamiento electro magnético por bobinas . Versiones experimentales similares se produjeron en los EUA como el Alcator y el Stellarator del M.I.T. Igual ocurrió en otros países europeos y en Japón con sus primeros reactores de Fusión. Por casi treinta años surgieron problemas tecnológicos casi insuperables en los experimentos: se consumía más energía eléctrica en generar el plasma que energía térmica obtenida para generar la electricidad por medios convencionales de turbina de vapor y generador eléctrico convencional. No menos grave fue el no lograr en el hilo de plasma de Deuterio levitando dentro de la cámara toroidal electromagnética, la temperatura, mínima de fusión termonuclear de la fantástica cifra requerida de 100 millones de grados Kelvin. En los materiales del reactor también aparecieron desafíos insuperables como la destrucción del toroide al vacío en minutos, por la intensa lluvia de neutrones de alta energía e igualmente la inestabilidad cuántica del hilo de plasma súper caliente, ante la posibilidad de ser tocado con la pared del toroide pudiendo derretirlo e implotarlo por estar al vacío. En los últimos años todos estos problemas se han venido resolviendo gracias al megaproyecto llamado ITER, esfuerzo internacional de EUA, Europa, Sur Corea, China, India y Rusia. Actualmente cerca a Niza en Francia, se construye el primer Tokamak operacional, como el más grande y avanzado reactor de Fusión Termonuclear de Hidrogeno del mundo con capacidad de 500 MW. Se espera que será operativo a partir de la década de 2040 a 2050. Combinadamente esta nueva tecnología energética será limpia y renovable como las ya existentes de hidroelectricidad, solar y eólica.

POR QUÉ NO SE CUMPLEN LOS PRESUPUESTOS Y PLAZOS INICIALES EN LOS CONTRATOS ESTATALES DE OBRAS

Jaime Rodas D.

Ingeniero civil

RESUMEN

Se presenta un análisis de los factores que dan lugar a las irregulares situaciones que con mucha frecuencia se presentan en los contratos de construcción de obra pública, los cuales no logran casi nunca realizarse dentro de los presupuestos y plazos inicialmente pactados por las distintas entidades públicas de todo orden. Se resalta que se ha vuelto costumbre aceptada que el contratista debe financiar las obras con sus propios recursos, aún durante períodos de muchos meses durante el desarrollo de los contratos, sin menguar los rendimientos ni afectar los programas de construcción e inversión, so pena de la aplicación de onerosas multas y amenazas de caducidad de los contratos. Estas aberrantes situaciones han originado el abandono de obras valiosas y la consiguiente liquidación de empresas importantes. Desafortunadamente se llega a que sea válido afirmar que no se contratan obras sino pleitos y que, todavía fresca la tinta de firma de los contratos, ya los contratistas están incurso en causales de incumplimiento de los mismos.

Palabras clave: Contratos, buenas prácticas, dificultades, incumplimientos, planeación, estudios, diseños, programación, presupuestos.

INTRODUCCIÓN

Es bien conocido que, por lo general (estudios gremiales así lo confirman), los contratos de construcción de obra pública no logran, casi nunca, realizarse dentro de los presupuestos (valor) y plazos inicialmente pactados por las distintas entidades públicas de todo orden (nacional, departamental, municipal y organismos descentralizados). Pareciera que esta fuera una condición consustancial a la contratación de construcción de obras públicas. Los contratos de consultoría son bien diferentes y no menos anómalos, y merecen, por lo tanto, un análisis propio que proponemos realizar en otra ocasión.

CAUSAS Y FACTORES

Muchas son las causas que dan razón para que esta irregular situación se presente invariablemente y, sin pretender ser exhaustivos, ni mucho menos dogmáticos, presento a continuación una relación sucinta de los más relevantes, advirtiendo que cuando se habla de **falta de**, no necesariamente se alude a ausencia absoluta, sino, por lo general, a deficiencias notorias en ese aspecto.

- **Falta de planeación de los proyectos.** Siendo este uno de los requisitos más importantes de la contratación pública, la planeación brilla por su ausencia o deficiencia en

la mayoría de los procesos de contratación. Esta situación se evidencia en los pliegos de condiciones donde se aprecia una generalidad e igualdad de condiciones en los distintos procesos de contratación, y poca o ninguna referencia a condiciones particulares y propias de cada proyecto según su ubicación geográfica, entorno social, accesibilidad, disponibilidad de materiales, redes existentes, etc. Estos aspectos deberían estudiarse previamente por las entidades e informarse con claridad a los proponentes, ya que inciden determinadamente en la valoración de los costos, plazos de ejecución y formulación de una propuesta ajustada a cada situación particular.

- **Falta de estudios y diseños.** Es deplorable que, en muchos casos, se tengan diseños deficientes e insuficientes, muchos de ellos apenas los mínimos necesarios, producto de parámetros de diseño asumidos con base en la experiencia o criterios de los diseñadores, pero no resultantes de estudios, ensayos y análisis rigurosos e intensivos de las condiciones propias de cada obra en particular o, a si se hacen son, muchas veces, muy precarios. Es así como, sobre la marcha, se detectan con mucha frecuencia, sobre todo en obras urbanas, una variedad de condiciones no tenidas en cuenta en los diseños, como vestigios de obras subterráneas antiguas, aguas subterráneas no previstas, redes subterráneas y aéreas de servicios públicos en servicio y en desuso, condiciones del suelo diferentes a las asumidas, etc. Estas novedades inciden en la parálisis o retrasos de las obras y en la necesidad de reformular los diseños apresuradamente, para adecuarlos a las condiciones reales, con las consiguientes afectaciones al plazo y al costo de las obras. Tampoco se elaboran análisis y diagnósticos sobre la incidencia de las obras, principalmente durante la construcción, pero también en servicio, en propiedades y construcciones vecinas, lo que es fuente de frecuentes sobrecostos por obras de reparación y mitigación adicionales, no contempladas en los diseños originales, además fuente de costosos procesos litigiosos contra las entidades y de estas contra los contratistas.

- **Falta de programación y presupuestación de las obras.** Por la naturaleza misma de las entidades públicas y el generalmente corto espacio temporal de permanencia de los funcionarios de la máxima autoridad y responsabilidad, se hacen asignaciones presupuestales, pero no presupuestos rigurosos, y se determina la oportunidad y plazo de las obras, pero no se hacen programaciones técnicas que integren recursos, rendimientos, plazos y costos. Estas definiciones se determinan con base en criterios netamente de conveniencia política, urgencias, disponibilidad presupuestal y propósitos propios de cada administración en sus cortos períodos de gestión. Se exceptúan de estas premisas precarias las grandes obras que tienen, por lo general, financiación multilateral y largas duraciones que comprenden y comprometen varias administraciones públicas a sus más altos niveles, y organizaciones robustas a su interior y contratadas con empresas privadas. Pero, también en estas y en proporciones significativas, se presentan, inexorablemente, grandes desfases de plazo y valor, y onerosos e interminables procesos litigiosos.

Las especiales circunstancias anteriormente mencionadas conducen a que las entidades fijen, de una manera unilateral, los valores y plazos en que deben (o eso pretenden, ilusoriamente por lo general) realizarse las obras, constituyéndose así, en parámetros axiomáticos que no pueden controvertirse y deben, en su lugar, aceptarse como verdades absolutas por los proponentes en las licitaciones y luego por los contratistas escogidos. La tozuda realidad es que la construcción de las obras dura lo que tienen que durar y cuestan lo que tienen que

costar, independientemente de las decisiones, por lo general arrogantes, de las entidades y funcionarios públicos del más alto nivel, que no consultan la realidad, sino otros intereses o propósitos, que pueden ser loables, pero, en las más de las veces, son irreales e irrealizables bajo esas condiciones.

- **Falta de gestión predial.** A pesar de la expresa prescripción legal que establece la obligatoriedad de disponer de todos los predios necesarios para la ejecución de una obra, previamente a su iniciación, es frecuente, por no decir que, en la mayoría de los casos, no se disponga de todos los predios requeridos y tenga que adelantarse gestiones de adquisición concomitantes con la ejecución de las obras. Estas anómalas circunstancias necesariamente derivan en ineficiencias en los rendimientos de las obras, demoras en el desarrollo del proyecto y el contrato de construcción, sobrecostos y reclamos de los contratistas a las entidades que, en gran parte de las veces, conduce a pleitos que se dirimen en onerosos tribunales de arbitramento o en interminables juicios en los estrados judiciales. Se agrega a esta falla la anormal resolución de trasladar, con gran frecuencia, esta gestión a los contratistas, con sus naturales efectos adversos en el plazo y costo de las obras.

- **Asignación y/o traslado de riesgos.** No obstante que en muchos procesos en los últimos tiempos se ha establecido la realización de audiencias para determinar la asignación de riesgos por las partes (contratante y contratista), se ha vuelto costumbre que las entidades pretendan, validos de su posición dominante, asignar a los contratistas, prácticamente, la responsabilidad por todos los riesgos de variada naturaleza: físicos, ambientales, sociales, jurídicos, políticos, orden público, etc., bajo la supuesta indemnidad que puede cubrirse con pólizas ‘todo riesgo’. En la realidad, no existe ninguna póliza que garantice y cubra a los proyectos, obras, entidades, empresas y personal, de todos y cualesquiera riesgos. La asunción de estas condiciones límites por parte de las empresas contratistas, las pone aún, eso sí, en alto riesgo de desaparecer, por lo cual no les queda alternativa diferente que acudir a resarcimientos de sus derechos por la vía judicial. Este es otro aspecto que dilata, y aún paraliza, la ejecución de las obras, generando ingentes sobrecostos a las mismas.

Es un principio de elemental equidad que los riesgos debe asumirlos quien esté en mejor condición de paliarlos.

- **Inequidad y condiciones leoninas en los contratos.** Prevalidos de su condición dominante (facultades y cláusulas exorbitantes), las entidades imponen, desde los pliegos de condiciones, en las minutas de los contratos y en la interpretación de los mismos durante el desarrollo de las obras, muchas condiciones francamente inequitativas y de carácter leonino. Incluye la imposición de obligaciones indeterminadas y exorbitantes en aspectos ambientales, sociales y legales, que son de imposible previsión al momento de elaborar las propuestas, máxime cuando la entidad fija tope máximo a las mismas, llegando al extremo de limitar los factores por administración, imprevistos y utilidades -AIU- (hoy en día se desconoce el factor I, con el pretexto de que hay que probar su ocurrencia. ¡Vaya ocurrencia! Por su misma naturaleza, se trata de imprevistos), sin que se muestre el origen de tales valoraciones que permitan cotejar y confrontar las exigencias sobrevinientes de parte de las entidades estatales durante el desarrollo de las obras y los contratos.

Se ha llegado al colmo de exigir probar los consumos y rendimientos asumidos en los análisis de precios unitarios (APU) y, como ya se dijo, probar, no solamente la ocurrencia de imprevistos sino también el monto de los costos indirectos y de administración, para autorizar los pagos, cuando a criterio del interventor o el funcionario responsable, las premisas asumidas y los valores totales son demasiado altos. Esta práctica implicaría convertir los contratos por precios unitarios en contratos por administración delegada, si operara también en los ítems donde, claramente, es fácil detectar la subvaloración de recursos, rendimientos y costos.

En este acápite puede incluirse, también, la demora en otorgar los anticipos y la autorización de su ejecución, la devolución de las actas de pago por cuestiones nimias, que hacen ineficiente la administración pública y privada y genera sobrecostos financieros a los contratistas (también a las entidades, aunque no los registren) no reconocidos en ninguna forma o circunstancia. No se hace uso, prácticamente en ninguna entidad, del procedimiento legal de las glosas a las cuentas o facturas, de modo que no se suspenda su trámite ágil y oportuno, sino que se recurre al fácil expediente de devolver las facturas para reiniciar desde el principio todo el proceso de facturación y pago, generando retrasos de meses en estos procesos. Se ignora el hecho de que el desarrollo normal y eficiente de las obras pasa por el equitativo y oportuno pago de las mismas a los contratistas.

Se ha vuelto costumbre aceptada, ‘paisaje’ que el contratista debe financiar las obras con sus propios recursos, aún durante períodos de muchos meses durante el desarrollo de los contratos, sin menguar los rendimientos ni afectar los programas de construcción e inversión, so pena de la aplicación de onerosas multas y amenazas de caducidad de los contratos. Estas aberrantes situaciones han originado el abandono de obras valiosas y la consiguiente liquidación de empresas importantes.

- **Demoras en la solución de problemas, obtención de permisos y licencias y en la entrega de nuevos planos.** Requerimientos de esta naturaleza, cuando son del resorte de las entidades (en la mayoría de los casos) se demoran injustificadamente por largo tiempo, afectando en materia grave los programas y plazos de construcción y, por ende, los presupuestos y costos de las obras, originando, al fin de cuentas, onerosas ampliaciones de plazo y sobrecostos en las mismas. Capítulo aparte merecen las zonas de conflicto de orden público, con sus inevitables fenómenos extorsivos, bloqueos de carreteras, paros y atentados a las obras y personas, etc., etc., que conllevan, inexorablemente, a que las obras no se puedan desarrollar dentro de los presupuestos inicialmente previstos, sin consideración de estas contingencias y sus costos.

- **Equivocada selección y escogencia de los contratistas.** La manipulada elaboración de pliegos de condiciones (‘pliegos sastre’), en muchas entidades y ocasiones, que favorecen la participación de firmas ineptas e impiden la de firmas de comprobada idoneidad, conducen frecuentemente a la selección de firmas que demuestran durante la ejecución de los contratos su incapacidad para realizar las obras dentro de los plazos, precios y costos acordados contractualmente.

De manera semejante, la práctica arraigada de recurrir a contratos interadministrativos y con universidades para el desarrollo de importantes proyectos y señaladamente de construcción, conduce a la selección amañada de subcontratación mediante la figura de tercerización, en

procedimientos de adjudicación directa que obvian los procesos licitatorios de ley. Es evidente que se recurre, principalmente en las entidades territoriales, a este expediente con miras a eludir la obligatoriedad de la aplicación de los ‘pliegos tipo’, a fin de adjudicar los contratos por motivos políticos, económicos o de conveniencia particular. Esta práctica conduce, por lo general, a la realización de contratos con grandes sobrepuestos y, finalmente, con enormes sobrecostos y largas demoras en su ejecución.

CONSECUENCIAS

Estas parciales y personales consideraciones, permiten aseverar y confirmar lo que, festivamente, manifestaba un promitente proponente en alguna audiencia, en el sentido de que si se leía los pliegos de condiciones, tendría que desistir de presentar propuestas. De manera semejante, se afirma que no se contratan obras sino pleitos y que, todavía fresca la tinta de firma de los contratos, ya los contratistas están incurso en causales de incumplimiento de los mismos.

¡Y todo lo anterior, sin hablar de la corrupción, que es harina de otro costal!



Foro sobre
Riesgos en Proyectos
Marzo 24 • Híbrido

REVÍVELO



Foro sobre
Infraestructura
Junio 2 • Híbrido

REVÍVELO



Foro sobre
Minería
Julio 14 • Híbrido

REVÍVELO



Foro sobre
**Arquitectura, Ciudad
y Territorio**
Septiembre 15 • Híbrido

REVÍVELO



Foro sobre
**Innovación en las Carreras
de Ingeniería y Arquitectura**
Noviembre 24 • Híbrido

REVÍVELO

DE LOS CAMINOS DE HERRADURA A LAS AUTOPISTAS 4G, ANTIOQUIA SE ABRE AL MAR

José Hilario López Agudelo

Geólogo, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia

RESUMEN

Sólo a finales de la tercera década del Siglo XX Antioquia logró abrirse a los mercados del Atlántico; más tarde, el Ferrocarril del Pacífico, conectado con el de Antioquia, nos abrió las puertas a los mercados del Pacífico. La Troncal Occidental, inaugurada a principio de la década de los 50, optimizó nuestra apertura a los mercados internacionales. Las Autopistas 4G, actualmente en ejecución, serán la verdadera apertura de Antioquia al mundo

Palabras clave: Caminos, carreteras, historia, Antioquia, autopistas, comercio

1. CAMINOS COLONIALES Y REPUBLICANOS

Durante la Colonia, la ciudad de Santafé de Antioquia no sólo era la capital de la provincia sino su principal centro comercial. Su salida al mar Caribe se lograba siguiendo una ruta compuesta por tres sistemas. El primero, un camino de herradura, llamado el Camino del Espíritu Santo, que bordeaba el Río Cauca hasta un sitio sobre el mismo río localizado aguas arriba del actual Puerto Valdivia, a partir del cual el río se hacía navegable. El segundo tramo aprovechaba el mismo río Cauca y luego el Río Magdalena, hasta llegar a la ciudad de Mompos y desde allí por el mismo Magdalena y el Canal del Dique hasta Cartagena. Esta ruta fue la más transitada hasta comienzos del Siglo XIX, cuando el centro político y comercial de la provincia se trasladó a Medellín, ciudad que ya se comunicaba con el Río Magdalena a través del camino del Nare, del que hablaré más adelante.

En lo relativo al camino del Atrato, la ruta más corta para llegar desde Santafé de Antioquia a Urabá y al mar Caribe la situación era diferente, ya que la Corona Española jamás permitió su explotación comercial por causa de las dificultades que le implicaba ejercer un efectivo control aduanero, que sólo se ejercía en el puerto de Cartagena. Esto no impidió que durante toda la Colonia, los contrabandistas utilizaran el camino del Atrato para sacar ilegalmente el oro producido sobre todo en las minas de Buriticá, muy cercanas a Santafé de Antioquia y aún de la región de Guamocó en la serranía de San Lucas (hoy sur del Departamento de Bolívar) y del río Nechí hacia la isla inglesa de Jamaica, donde lo intercambiaban por mercancías inglesas que introducían fraudulentamente por la misma ruta de Urabá o por la Guajira hasta Mompos y, desde allí, hasta la región minera del Nechí.

Desde mediados del Siglo XIX la dirigencia antioqueña ya tenía clara conciencia sobre la importancia de los caminos para el desarrollo de la provincia, para las comunicaciones y el comercio, tanto al interior de ésta como con el mundo exterior.

Mariano Ospina Rodríguez, gobernador de la provincia de Antioquia, en su informe de 1856 a la Asamblea Constituyente del Estado, hacía énfasis en la urgencia de abrir caminos, en especial aquellos orientados hacia los mercados externos. En su informe Ospina anotaba que el camino más importante para Antioquia era el que comunicaba la capital del Estado con el río Magdalena en la localidad de Puerto Nare; además destacaba la necesidad de construir un camino que conectara la ciudad de Medellín con el río Atrato, pasando por la población de Andes en el suroeste antioqueño.

Juan Pablo Arango, personero provincial del Estado, en su informe a la citada Asamblea de Antioquia anotaba que: “Una de las urgentes necesidades del Estado y que más preferencia demanda vuestra atención, exigiendo de vosotros medidas activas y eficaces es sin duda alguna la apertura de las vías de comunicación y mejora de las existentes. Este país (Arango se refiere a Antioquia como un país), enclavado como providencialmente en medio de inmensas e impenetrables cordilleras, sería condenado a un eterno aislamiento sin poder nunca recibir los beneficios de los grandes descubrimientos de otros pueblos de la tierra, si sus hijos descuidasen por algún tiempo sus caminos. Es, como la ha dicho un célebre escritor, “semejante a un oasis en el desierto que lleno de riquezas necesita de arterias que conduzcan sus tesoros a las demás naciones del globo¹”.

Para fines del siglo XIX en Antioquia existían los siguientes caminos de herradura, a través de los cuales se movilizaban sus pobladores con otras regiones del país y con el exterior (Ver Figura 1).

El camino del Nare, la principal ruta para las exportaciones de café, cuyo cultivo se había iniciado en la provincia desde mediados del Siglo XIX, comunicaba a Medellín con el Río Magdalena, pasando por Rionegro, Marinilla, El Peñol, Guatapé, San Carlos y Juntas hasta llegar a Puerto Nare. Vía Río Magdalena aguas abajo se llegaba a Cartagena y/o Barranquilla, ciudad esta última donde se tomaba el ferrocarril de Sabanillas - Puerto Colombia. Desde Puerto Nare por el mismo Río Magdalena se subía hasta la población de Honda, para tomar el camino a Santafé de Bogotá.

El camino del Norte partía de Medellín y pasaba por Copacabana, San Pedro de los Milagros, Santa Rosa de Osos, Yarumal y llegaba hasta Cáceres en el Río Cauca. Desde la población de Santa Rosa de Osos partían ramales hacia Amalfi y Anorí.

El Camino del Suroeste, partía de Medellín y pasaba por Fredonia, Jericó, Bolívar hasta llegar a la población de Andes. Este camino comunicaba también con el actual departamento del Chocó.

El camino del Sur partía de Medellín y pasaba por Fredonia o Santa Bárbara, y vía Supía o Caramanta seguía a Riosucio, Anserma, Cartago y de allí al Estado del Cauca y su capital

¹ Citado por Arango Jaramillo et al. Comunicaciones y correos en la historia de Colombia y Antioquia, Primera edición, 1996. Editorial Gente Nueva, Santafé de Bogotá

Popayán. Desde Popayán existía el camino colonial, que pasando por Pasto comunicaba con la ciudad de Quito.

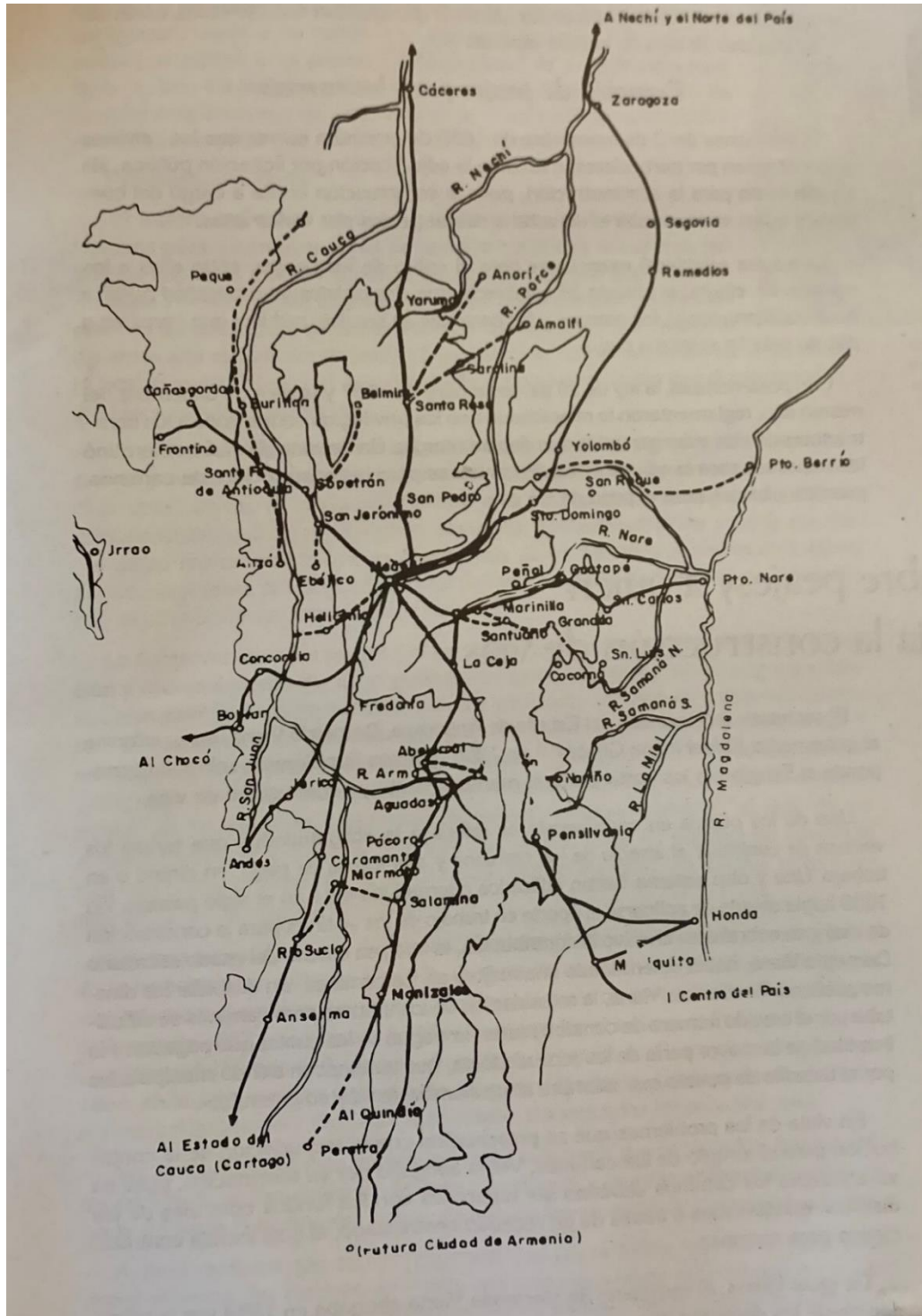


Figura 1. Caminos de herradura en Antioquia, a finales del Siglo XIX. Tomado de libro Historia de Antioquia, obra dirigida por Jorge Orlando Melo.

El camino del Nordeste partía de Medellín y pasaba por Santo Domingo, Yolombó, Remedios, Segovia y llegaba a Zaragoza en el Río Nechí. Por vía fluvial se podía descender desde Zaragoza hasta la población de Nechí en el Río Cauca y de allí continuar por vía fluvial hasta los puertos del mar Caribe. Este era el camino del oro y la principal comunicación, con el camino del Nare, de Medellín con el norte del país.

A mediados del Siglo XIX en la provincia de Antioquia se inició el cultivo del café, que llegó a ser el principal producto de exportación de esta región y del país. El transporte del café antioqueño hasta los puertos de exportación en el Mar Caribe se hacía inicialmente por medio de recuas de mulas, desde la principal zona productora situada en el suroeste del departamento hasta el río Magdalena, pasando por Medellín y Rionegro, para tomar el camino del Nare hasta llegar al río Magdalena, donde se embarcaba hasta los puertos de Barranquilla y Cartagena, desde los cuales se exportaba a los mercados de Estados Unidos y Europa. Esto funcionó así, hasta cuando durante la segunda década del Siglo XX entró en operación el Ferrocarril de Antioquia que conectó la zona cafetera con Puerto Berrío en el río Magdalena y, más tarde, con el Ferrocarril del Pacífico y el puerto de Buenaventura.

La primera obra de infraestructura vial que permitió la apertura de Antioquia a los mercados nacionales e internacionales fue el Ferrocarril de Antioquia cuando en 1929 se logró la conexión entre la región cafetera del suroeste del departamento y Puerto Berrío sobre el Río Magdalena, lo cual posibilitó que el café, nuestro primer renglón de exportación, llegase a los mercados de la costa oriental de los Estados Unidos y a Europa. En 1942 se logró la conexión del Ferrocarril de Antioquia con el Ferrocarril del Pacífico y por su conducto con el Puerto de Buenaventura, y con ello la apertura de nuestro departamento a los mercados de la costa occidental de USA y de Asia Pacífico.

2. LA TRONCAL OCCIDENTAL

El plan de carreteras creado por la Ley 88 de 1931 estableció la Troncal Occidental, como uno de los tres ejes carreteables que atravesarían de sur a norte el territorio nacional. La Troncal se iniciaría en el Puente Internacional de Rumichaca en la frontera con el Ecuador y avanzaría hacia el norte, pasando por Pasto, Popayán, Cali, Cartago, Manizales, Medellín-Puerto Valdivia y, finalmente llegaría a Tolú en el Mar Caribe.

La Misión Curri contratada por el presidente Mariano Ospina en los años 50, dio origen a un contrato de asociación entre la empresa estadounidense Raymond Concrete Pile Co. of South America y Contratistas Constructores Ltda., celebrado en 1951. Comprendía la construcción de los siguientes tramos sobre la Troncal de Occidente, con excepción del tramo Cartago-Manizales (89 km): Buenaventura-Cali (142 km), Cali- Palmira (25 km), Palmira-Cartago (165 km), Cerritos-Medellín (259 km), Medellín-Tarazá (257 km) y Cauca-Manizales (66 km). En 1958 se habían hecho algunas modificaciones al contrato original: no se completaron las obras e la carretera entre Cali y Buenaventura, en un trecho de 58 km; la carretera Medellín-Tarazá quedó a cargo del Ministerio de Obras Públicas y se modificaron algunos tramos del sector Supía-La Pintada. Para ese mismo año de 1958 se habían completado cerca del 90% de las obras de reconstrucción y pavimentación, contratadas en la Troncal de

Occidente (cerca de 450 kilómetros) y la ejecución del 60% de los 129 kilómetros nuevos proyectados.

Con la construcción del tramo Tarazá – Planeta Rica de la Troncal Occidental, en el año de 1955 Antioquia logró acceder vía carretable a los puertos del Mar Caribe y a los mercados internacionales. Por otro lado, la carretera Cali – Buenaventura, la denominada carretera Simón -Bolívar siguiendo el río Anchicayá, inaugurada en el año de 1946, permitió la conexión de la carretera troncal de Occidente con Buenaventura, nuestro principal puerto en el Océano Pacífico.

La Misión Currie también propuso una nueva carretera en reemplazo de la vieja carretera Simón Bolívar. Con la nueva carretera entre Cali y Buenaventura, a principios de la década de los 60 el Departamento de Antioquia quedó también conectado con vías de aceptables especificaciones con el puerto de Buenaventura. Más tarde se construiría la carretera Buga – Madroñal - Loboguerrero, la cual permitió acortar la distancia del valle de Aburrá, del Eje Cafetero y del centro del país al puerto de Buenaventura.

La apertura del tramo Medellín-Planeta Rica de la troncal de Occidental influyó notablemente sobre el sistema férreo y fluvial por el río Magdalena, ya que la carretera ofrecía mejores condiciones para el transporte expedito de mercancías en trayectos largos, a diferencia del tren y del río que retrasaban el traslado de estas desde Medellín hasta los puertos de Cartagena y Barranquilla. Además, los costos del transporte por el sistema carretero eran inferiores a los del binomio tren-río, debido a que el trasbordo del tren a los barcos hacía más demorado el viaje y además elevaba los costos de operación. Por otro lado, la conexión de la Troncal Occidental y la nueva carretera Cali – Buenaventura permitió una más eficiente comunicación con el puerto Pacífico, que la que ofrecía el ferrocarril del Pacífico. En nuestra opinión, con la operación de la Troncal Occidental y la nueva carretera Cali – Buenaventura empezó la decadencia del Ferrocarril de Antioquia y del Ferrocarril del Pacífico.

3. LAS CONCESIONES DE CUARTA GENERACIÓN EN ANTIOQUIA

Las originalmente denominadas Autopistas de la Montaña, hoy Autopistas de la Prosperidad o Concesiones Cuarta Generación-4G, son el gran proyecto que permitirá al Valle de Aburrá y a la ciudad de Medellín conectarse por vías de buenas especificaciones con los puertos de Cartagena, Barranquilla y Santa Marta en Mar Caribe, con la región de Urabá y con el puerto de Buenaventura en el Océano Pacífico; adicionalmente el megaproyecto permitirá conectar a nuestro departamento con el Eje Cafetero, con el suroccidente del país y con el centro y oriente del país.

El megaproyecto esencialmente está concebido bajo el esquema de Alianzas Público-Privadas, complementado con inversiones del Gobierno Nacional, la Gobernación de Antioquia y la Alcaldía de Medellín, que también invertirán en la rehabilitación de 900 kilómetros de carreteras, para un total aproximado de 1.700 kilómetros en operación y mantenimiento. El megaproyecto incluye 366 puentes y 44 túneles y demandará una inversión de 28,5 billones de pesos que se están ejecutando a través de nueve concesiones en su mayor parte con recursos provenientes del sector privado. En la mayoría de los casos, los

concesionarios están invirtiendo en la realización de los trabajos, para después de entregadas a la Agencia Nacional de Infraestructura-ANI, recuperar los dineros a través de vigencias futuras que aportará el Gobierno Nacional y del peaje que pagarán los usuarios de las vías, una vez que estas entren en operación.

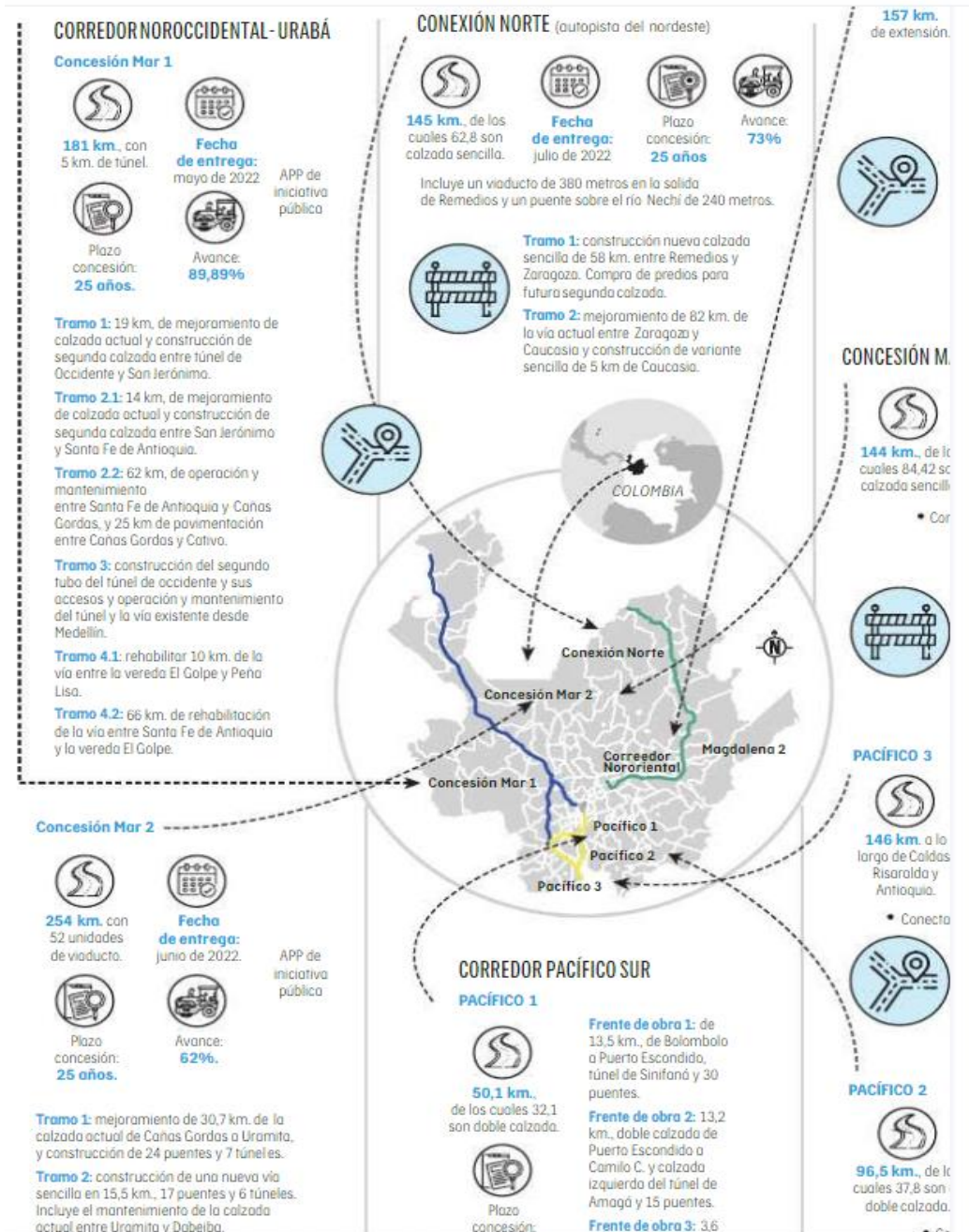


Figura 2. Las concesiones viales en Antioquia-4G. (Periódico El Tiempo, edición del 27 de setiembre de 2021)

Las obras en ejecución se terminarán de construir entre los años 2022 y 2024, después de transcurridas dos décadas cuando en el año de 2003 se concibió el megaproyecto bajo el nombre de Autopistas de la Montaña. En aquel entonces en Antioquia entendimos que, para enfrentar el desafío de las 4G, deberían participar el Gobierno Nacional, el Departamental y los municipios, pero sobre todo que se necesitaba un trabajo en equipo mancomunado con el sector privado. Fue así como se estructuró el megaproyecto Autopistas de la Montaña, en el gobierno del presidente Álvaro Uribe Vélez y bajo el liderazgo del entonces ministro de Transporte, el ingeniero Andrés Uriel Gallego. Inicialmente el megaproyecto se le encomendó a Interconexión Eléctrica S.A-ISA, quien realizó los estudios y los diseños preliminares de las obras. En el gobierno del presidente Juan Manuel Santos se creó la Agencia Nacional de Infraestructura-ANI y se estructuró el megaproyecto bajo el liderazgo del entonces vicepresidente Germán Vargas Lleras.

En la Figura 2 se muestran las concesiones 4G en Antioquia y en la Figura 3 el túnel del Toyo, renombrado túnel Guillermo Gaviria Echeverri, que será construido como obra pública para conectar las concesiones Mar y Mar 2. A continuación un resumen de las 4G en Antioquia.



Figura 3. El túnel Guillermo Gaviria Echeverri (Periódico El Tiempo, 27 de setiembre de 2021)

3.1 CONCESIONES MAGDALENA 1, MAGDALENA 2 Y CONEXIÓN NORTE

Estas tres concesiones permitirán una comunicación expedita del valle de Aburrá con los puertos de Cartagena y Santa Marta.

La Concesión Magdalena 1 o Vías del Nus, VINUS, con longitud de 157 km, se inicia en el municipio de Barbosa, en el extremo norte del Valle de Aburra, con una doble calzada y mediante dos túneles paralelos, cada uno de 4,2 kilómetros de longitud, que atraviesan la Quebrada de Santo Domingo, se accede al Valle del Río Nus y se llega hasta el Alto de Dolores, un poco más adelante de la localidad de San José del Nus. Esta concesión fue inaugurada a fines del 2021

En el Alto de Dolores, La Concesión Magdalena 1 se conecta con la Concesión Magdalena 2, proyecto este que mediante un tercer carril para adelantamiento habilita la actual carretera Alto de Dolores-Puerto Berrío-Conexión Ruta del Sol. La Concesión Magdalena 2 incluye además la construcción de una nueva carretera de 87 kilómetros de longitud para conectar el Alto de Dolores con la población de Remedios en el nordeste antioqueño.

Mediante la Concesión Conexión Norte, a partir de Remedios la vía sigue avanzando hacia el norte con la rehabilitación de la carretera existente en una longitud de 47 kilómetros hasta

la población de Zaragoza; a partir de esta última población se hará mantenimiento al tramo existente entre Zaragoza y Caucasia, población esta última donde conectará con la Troncal Occidental.

3.2. CONCESIONES MAR 1 Y MAR 2

La Concesión Mar 1 se inicia en la ciudad de Medellín con la construcción del segundo Túnel Fernando Gómez Martínez, atraviesa los municipios de San Jerónimo, Sopetrán y Santafé de Antioquia hasta llegar a Cañasgordas, en el occidente del Departamento de Antioquia. La concesión Incluye: 1) La construcción del segundo tubo del Túnel de Occidente de 5 kilómetros de longitud; 2) mejoramiento de la calzada existente y la construcción de la segunda calzada en el tramo Medellín - Santa Fe de Antioquia (33 km); 3) la rehabilitación de la carretera Bolombolo - Santa Fe de Antioquia (62 kilómetros de longitud) y 4) la operación y mantenimiento de la vía existente entre Santa Fe de Antioquia y Cañasgordas (66 km). La concesión Mar 1 se inauguró a mediados del 2022.

El túnel del Toyo (9,8 km de longitud kilómetros de longitud) y sus accesos, que hacen parte de la nueva vía Santafé de Antioquia-Cañasgordas, se están construyendo como una obra pública.

La Concesión Mar 2, con unos 250 kilómetros de longitud total, incluye el mejoramiento de la calzada actual en el tramo Cañasgordas-Uramita, la construcción de una nueva vía en calzada sencilla (Variante de Fuemia), que incluye el túnel de Fuemia y la operación y mantenimiento de la vía actual entre los municipios de Uramita y Dabeiba, así como mejoras puntuales de trazado y la rehabilitación del resto del tramo Dabeiba-Mutatá, la rehabilitación del tramo Mutatá-El Tigre y el mantenimiento y operación entre El Tigre y Necoclí.

Con la operación de Mar 1 y mar 2 Urabá quedará a seis horas de viaje desde Medellín.

3.3. CONEXIÓN PACÍFICO

La Conexión Pacífico unirá con una vía de buenas especificaciones el Valle de Aburrá con la localidad de Tres Puertas (cerca de la ciudad de Manizales) y con la población de La Virginia (Departamento de El Risaralda), sitios estos donde empalmará con las autopistas del Eje Cafetero, las autopistas del valle del Cauca y la Doble Calzada Bogotá-Buenaventura. Esta conexión pondrá el valle de Aburrá a unos 400 kilómetros de Buenaventura, puerto este donde actualmente se construyen ampliaciones que permitirán la operación de barcos hasta de 6.500 TEUS (unidad de capacidad de carga de un contenedor de 20 pies). La Conexión Pacífico incluye las concesiones denominadas Pacífico 1, Pacífico 2 y Pacífico 3. En la actualidad desde Medellín un camión tarda 15 horas en llegar a Buenaventura, con la Conexión Pacífico en operación el tiempo se disminuirá a 10 horas.

Concesión Pacífico 1-Covipacífico

La Concesión Pacífico 1- Covipacífico comienza en el Ancón Sur, extremo sur del valle de Aburrá y sigue hasta la población de Caldas, donde atraviesa la divisoria de aguas entre el río Aburrá (cuenca del río Porce) y el río Cauca y termina en Bolombolo a orillas de este último río. La vía será completamente nueva en doble calzada y tendrá dos túneles: El túnel de Amaga de 3,6 kilómetros de longitud en doble calzada y el túnel de Sinifaná de 2,5 kilómetros de longitud, también en doble calzada, y además incluirá 20 puentes. La inversión estimada en Pacífico 1 es de \$1,94 billones.

Concesión Autopista Conexión Pacífico 2

La Concesión Autopista Conexión Pacífico 2 es una nueva vía en doble calzada que sigue la orilla del río Cauca a partir de Bolombolo y termina en La Pintada; incluye además el mantenimiento de la carretera La Pintada – Alto de Minas- Primavera (extremo sur del valle de Aburrá). La inversión en la nueva vía ya construida, de 95 kilómetros de longitud, fue de \$1,3 billones.

De las vías de la Conexión Pacífico inaugurada en el último trimestre de 2021, la única ya terminada es Pacífico 2, obra concesionada a Odinsa. La obra incluyó la construcción de 3,16 kilómetros de calzada sencilla; 37,7 de doble calzada, 4,49 kilómetros de puentes y 5 de túneles, y la rehabilitación de 54 kilómetros de calzada sencilla.

Pacífico 2 se conectará con Pacífico 3 en la localidad de La Pintada y con Pacífico 1 y la Autopista al Mar 1 en la población de Bolombolo.

Concesión Conexión Pacífico 3

El último tramo de la Conexión Pacífico de las Autopistas de La Prosperidad se inicia en La Pintada y pasa por La Felisa, Irra y Tres Puertas hasta llegar a La Manuela en las cercanías de Manizales; incluye también la variante de Tesalia que conectará con la localidad de La Virginia

La inversión aproximada en Pacífico 3 será de \$1,8 billones, requeridos para construir y rehabilitar 231 kilómetros de carretera. La vía tendrá 26 puentes y 3 túneles, entre ellos el de mayor longitud es el denominado túnel de Tesalia con una longitud de 3,5 kilómetros, ya inaugurado, que se convierte en el túnel más largo del Eje Cafetero.

La conexión mediante las concesiones Magdalena 1 y 2 con la Ruta del Sol, sumada a las concesiones Vía al Mar 1 y 2, más el túnel del Toyo, serán, a no dudarlo, los impulsores del renacimiento del desarrollo antioqueño, con la región de Urabá y su potencial agroindustrial abierto a los mercados internacionales, haciendo realidad el sueño de convertirnos en la Mejor Esquina de América.

Las Autopistas 4G en Antioquia a cargo de las ocho concesiones viales atrás descritas, en total estará conformada por 1.700 kilómetros viales, 366 puentes, 44 túneles y tendrá una inversión que supera los 28,5 billones de pesos. Al terminar el primer semestre de 2022 de las ocho concesiones se han inaugurado y entraron en operación: la Concesión Pacífico 2, la Vía al Mar 1, VINUS, (Magdalena 1) y la Conexión Norte. Se espera que todo el paquete de las Concesiones 4G en Antioquia se haya completado en el año de 2024.

Las bajas pendientes de las Autopistas 4G antioqueñas (máximas del 6%) permitirán velocidades de hasta de 80 kilómetros por hora, más que duplicando las velocidades promedias de las antiguas vías.

REFERENCIA

Este artículo resume apartes del libro del autor *Historia de la infraestructura vial en Colombia, Antioquia se abre al Mundo*, editado por la Universidad de La Salle (2022).

MECANISMO DE FALLA ASOCIADO A PRESIÓN HIDROSTÁTICA EN DESLIZAMIENTOS PROFUNDOS EN LADERAS DE ALTA PENDIENTE DEL VALLE DE ABURRÁ

Fabián Hoyos Patiño¹ Oscar Echeverri Ramírez² Marisol Salvá Ramírez³
Alejandro Velásquez Pérez⁴

¹Universidad Nacional de Colombia. Instituto de Estudios de Infraestructura. Facultad de Minas. Medellín. fhoyos@unal.edu.co

²Universidad Nacional de Colombia. Programa de Maestría en Ingeniería-Geotecnia. Facultad de Minas. Medellín. amul@une.net.co

³Escuela de Ingeniería de Antioquia. marisolsalva@gmail.com

⁴Escuela de Ingeniería de Antioquia. Vieco Ingeniería de Suelos. alejandrov5@hotmail.com

RESUMEN

Algunos movimientos en masa en laderas de alta montaña, pueden ser explicados como un proceso de falla progresiva en razón de las condiciones hidrogeológicas particulares del medio en el que el regolito limoso de baja permeabilidad constituye el sello o acuícludo del acuífero confinado formado por el basamento rocoso. La presión hidrostática en el techo del basamento puede alcanzar una magnitud capaz de fracturar el manto de regolito lo que inicia un proceso de falla progresiva.

En este artículo presentamos la aplicación de este modelo para explicar algunos deslizamientos profundos en las laderas orientales del Valle de Aburrá, donde las condiciones geológicas e hidrogeológicas se ajustan a las condiciones enunciadas en el párrafo anterior.

Para el efecto analizamos tres deslizamientos mediante método de equilibrio límite (Janbu, Bishop y Morgenstern & Price). Posteriormente agregamos a estos modelos de análisis fuerzas en la base del regolito que simularan las presiones hidrostáticas suficientes para ocasionar el desbalance de fuerzas necesarias para desencadenar el proceso de deslizamiento. Los resultados obtenidos, que replican de manera muy aproximada la geometría de falla real, indican que este es un mecanismo de falla plausible.

Palabras clave: Suelos, fallas, Valle de Aburrá, casos, regolitos, basamentos, deslizamientos, hidrogeología

INTRODUCCIÓN

Los análisis de estabilidad de taludes y laderas se basan en modelos en los que se hace un balance de fuerzas/momentos motores versus fuerzas/momentos resistentes. Cualquier elemento externo (sobrecargas, cargas dinámicas, estructuras de contención, elementos de refuerzo, etc.) es integrado al sistema que queda reducido a un sistema cerrado cuyo equilibrio es calculado en forma iterativa.

La presión artesiana en las laderas de alta montaña ha sido una variable pasada por alto en el análisis de estabilidad de taludes y laderas. Los esfuerzos asociados a la presión artesiana en la base del manto del suelo que suprayace el macizo rocoso fracturado en las laderas de alta montaña son un elemento externo que bien puede explicar algunos movimientos de masa. Un incremento excepcional de dicha presión o la disminución de la carga del regolito sobre el macizo rocoso debido al efecto de la erosión secular o a cortes del terreno, pueden dar lugar al desequilibrio de fuerzas y a ruptura del material y subsecuentemente a un proceso de movimiento de masa.

En este artículo presentamos los elementos de análisis de este mecanismo de falla y su ilustración con base en tres casos de estudio seleccionados a partir de información secundaria de eventos de erosión en masa en las laderas orientales del Valle de Aburrá: Planta de Tratamiento de Agua Potable Manantiales, 1990, Urbanización Alto Verde, 2008, y cuenca de la quebrada Sanín-Poblada, 2010; cada uno de ellos fue analizado, por medio de tres métodos diferentes de equilibrio límite, en primera instancia de manera convencional, y luego con la adición de la fuerza generada por la presión hidrostática en el techo del basamento rocoso. Los resultados del análisis convencional dieron factores de seguridad mayores que la unidad en los tres casos; los factores de seguridad disminuyeron a valores cercanos a la unidad cuando fueron introducidas en el análisis las fuerzas asociadas a la presión hidrostática en el techo del basamento rocoso. Las magnitudes de las fuerzas necesarias para producir las fallas se ajustan a la del incremento de presión hidrostática por encima de un nivel base en dos sitios donde la posición del nivel piezométrico ha sido monitoreada en un intervalo mayor que diez años.

Los resultados numéricos presentados en este artículo fueron obtenidos en desarrollo de la tesis de grado para optar por el título de ingenieros civiles de dos de los autores.

CASOS DE ESTUDIO

Hemos seleccionado tres casos de estudio bien conocidos en Medellín cuyas características permiten suponer que se ajustan al modelo de falla propuesto.

Planta de Potabilización Manantiales.

Localizada en el norte de la ciudad, aproximadamente a 1800 m de altura sobre el nivel del mar. El regolito, formado por andosoles, depósitos de ladera y suelo residual derivado de dunita tiene un espesor cercano a los 20 m. El basamento rocoso presenta alta fracturación debido a la proximidad de su contacto con la Anfibolita de Medellín; las discontinuidades están llenas de limo de color pardo. En ninguno de los sondeos de la etapa exploratoria se encontró el nivel freático en el regolito. Los cortes hechos en el proceso de adecuación del terreno tuvieron una altura de 15 m. Los análisis de estabilidad previos a la construcción dieron como resultado factores de seguridad superiores a 1.6

Durante la construcción de la planta, en el año 1989, ocurrió un deslizamiento rotacional precedido del surgimiento de un manantial en la base del talud; este manantial permaneció después de ejecutadas las labores de estabilización. En las perforaciones hechas después del deslizamiento, en el cuerpo y la corona del talud, se encontró que el nivel piezométrico se encontraba varios metros por encima del techo del basamento rocoso.

Urbanización Alto Verde

Localizada en el oriente del Valle de Aburrá, aproximadamente a 1850 m sobre el nivel del mar. El regolito está formado por andosoles, depósitos de ladera con fragmentos de anfibolita y dunita y suelo residual derivado de brecha tectónica. El basamento está formado por una brecha de anfibolita. Los cortes hechos en el proceso de adecuación del terreno tuvieron una altura de 15 m. El nivel freático se encontró entre 12 m y 15 m durante la exploración.

En noviembre de 2008, ocurrió un deslizamiento profundo que destruyó varias casas. Al igual que en la Planta de Potabilización Manantiales el movimiento en masa fue precedido del surgimiento de manantiales en la base del talud que inundaron algunas de las viviendas.

La Presidenta

En noviembre de 2010, un deslizamiento profundo, afectó la vertiente derecha de esta quebrada por debajo de la cota 2150 m. Después de este evento, comenzó a fluir una nueva corriente permanente que nace en la parte media inferior de la cicatriz del deslizamiento.

El regolito, formado por andosoles, depósitos de ladera y suelo residual derivado de dunita tiene un espesor cercano a los 20 m. El basamento rocoso a 11 m de profundidad presenta alta fracturación; las discontinuidades están rellenas de limo de color rojizo. No se observó el nivel freático en el regolito. Uno de los autores observó un flujo de agua anormal en la vecindad del cuerpo del deslizamiento unas horas antes del deslizamiento.

La información geotécnica básica, presentada en la Tabla 1, fue obtenida de las firmas Estec S.A, Giovanni Arrieta Ingeniería de Suelos, Inteinsa S.A., Vieco Ingeniería de Suelos y Solingral S.A.

Tabla 1. Valores de peso unitario y parámetros de resistencia al corte.

Presidenta				Alto Verde				Manantiales			
Nivel	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ' (°)	Nivel	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ' (°)	Nivel	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ' (°)
Andosol	15	17	18	Depósito de ladera	16	20	30	Depósito de ladera	17	2	28
Suelo Residual	17	22	28	Suelo Residual	18	20	35	Suelo Residual	18	12	27
Dunita	24	70	45	Saprolito	20	40	35				

MECANISMO DE FALLA.

Para efectos de la discusión tomaremos como concepto de mecanismo de falla el modelo conceptual o analítico que permite explicar el proceso que da lugar a un movimiento en masa. No es el objeto de este artículo discutir los diferentes tipos de movimientos en masa. Baste con dejar sentado que cada uno de ellos está asociado a condiciones hidrológicas e hidrogeológicas particulares.

La conocida asociación entre el ascenso del nivel freático en la masa del suelo y la ocurrencia de deslizamientos, unida a la observación del hecho que un número grande de ellos ocurre en épocas lluviosas ha llevado a muchos autores a buscar correlaciones entre parámetros asociados a la precipitación local y el desencadenamiento de movimientos de masa. Numerosos eventos conocidos y documentados dan lugar a proponer una relación directa

entre precipitaciones y deslizamientos someros o desgarres. En esta dirección se han realizado numerosas investigaciones orientadas a obtener una correlación entre parámetros de la precipitación y la ocurrencia de deslizamientos. (Aboshi, 1972, Aristizábal et al, 2011, Caine, 1980, Campbell, 1975, Canuti et al, 1985, Ceccarini et al, 1981, Chleborad 2001, Crozier 1982, Crozier et al 1980, García, 2012, Gómez & Vélez, 1990, Guidicini & Iwasa, 1977, Hoyos, 2001, Marín, 2001, Okkuda et al, 1985, Paz & Torres, 1989, Sidle, 1986, Vargas, 1971, Vélez et al, 2002).

Sin embargo, no siempre puede establecerse de manera clara una relación directa entre la precipitación local y la ocurrencia de deslizamientos. Paz & Torres (1989) analizaron 176 deslizamientos ocurridos en las laderas del Valle de Aburrá en el período entre 1977 y 1987, y trataron de establecer correlaciones entre variables relacionadas con la precipitación y la ocurrencia de deslizamientos, ninguna de las cuales puede considerarse significativa. Los deslizamientos ocurrieron en todas las épocas del año con un máximo de 21% en el mes de mayo, alrededor del 12% en cada uno de los meses de abril a octubre con excepción del mes de julio y menos del 5% para cada uno de los meses de diciembre a marzo. La ausencia de correlaciones claras entre precipitación y deslizamientos parece ser debida a la calidad de la información utilizada que no permitió a las autoras discriminar los tipos de deslizamiento.

Los deslizamientos profundos que involucran grandes masas de suelo, pueden no presentar una correlación estadística significativa con las épocas de máxima precipitación (Gómez & Vélez, 1989, 1990) o con lluvias con un período de retorno alto (Paz & Torres, 1989). Con todo, su concentración en dos épocas del año, en zonas donde existe una distribución bimodal de la precipitación, sugiere la existencia de una relación causal con eventos de tipo periódico que, en este caso, bien pueden ser las lluvias que tienen una distribución anual similar. Así, la correlación podría buscarse con eventos distantes espacialmente, cuya magnitud bien puede ser similar a los eventos locales, aunque con un retardo que debe ser explicado en términos de las condiciones hidrogeológicas regionales. En este caso la característica más relevante de la precipitación en el área de recarga probablemente no será la combinación frecuencia- duración sino la cantidad de lluvia acumulada que tiene posibilidad de infiltrarse en un período dado, teniendo en cuenta que las lluvias muy intensas contribuyen relativamente poco a la infiltración profunda.

Aún más, hay casos en los que aparentemente la relación entre precipitación local y movimientos en masa fuera inversa. Es el caso de la terraza de Bucaramanga donde la mayor parte de los deslizamientos ocurren en los períodos de junio a agosto y de diciembre a febrero, que coinciden con los períodos secos en la zona (Hoyos et al, 1992). La relación temporal entre precipitación y deslizamientos en la Terraza de Bucaramanga está ilustrada en la Figura 1. En la Figura 2 puede apreciarse la relación entre precipitación y niveles piezométricos en la Planta de Potabilización Manantiales en el Valle de Aburrá. Vale la pena anotar que en estos registros puede observarse variaciones de nivel piezométrico que alcanzan los 10 m equivalentes a 100 kPa.

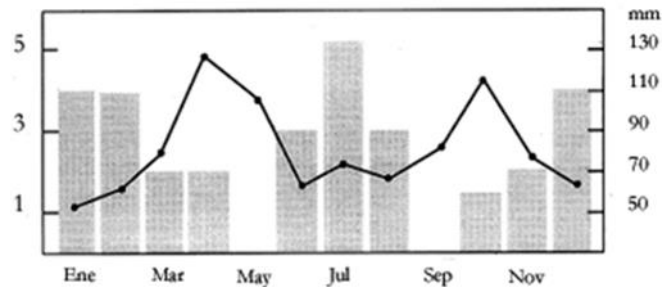


Figura 1. Relación entre precipitación (línea quebrada) y deslizamientos (barras) en la Terraza de Bucaramanga.

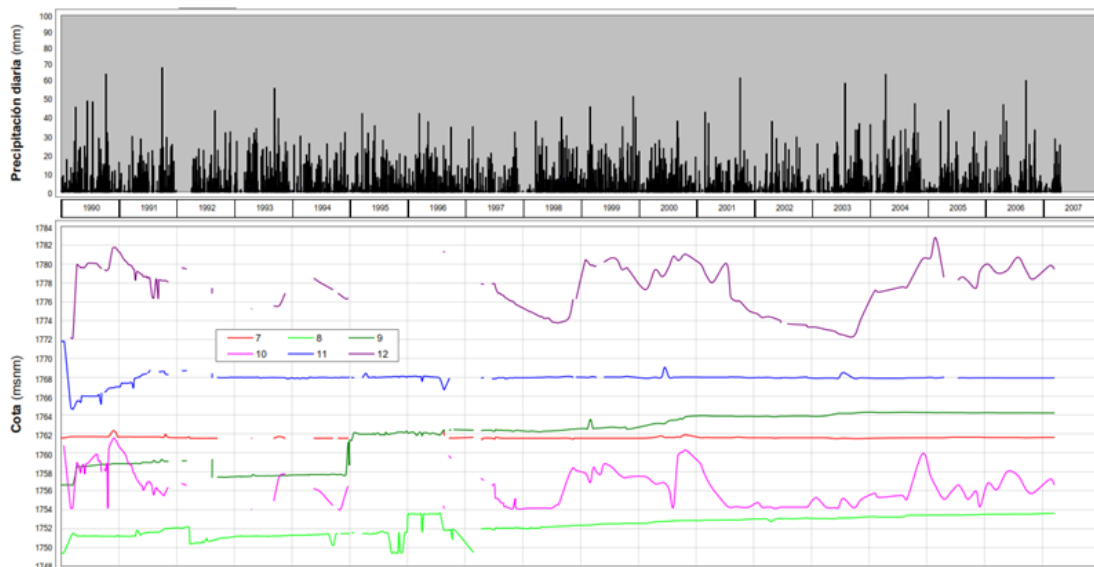


Figura 2. Registro de precipitación y niveles piezométricos en la planta de potabilización Manantiales.

Los deslizamientos profundos difícilmente pueden ser explicados por el incremento de la presión intersticial que sigue a un evento o a una serie de eventos de lluvia locales. Hay suficiente evidencia empírica que indica que la infiltración en laderas de alta pendiente es mínima y que el agua subterránea en las laderas del Valle de Aburrá procede de los altiplanos vecinos (Hoyos, 2001, 2007, 2012, Hoyos & Arnason, 1992, 1994, Hoyos et al 2002).

En las laderas de alta pendiente, donde el regolito limoso constituye el sello impermeable sobre el acuífero confinado del basamento rocoso, debe adicionarse una condición adicional a las condiciones de estabilidad: la resistencia mecánica del sello impermeable debe ser mayor que la fuerza asociada a la presión hidrostática en el techo del acuífero. Esta es una condición necesaria de estabilidad; cuando la resistencia mecánica del sello impermeable sea menor que la fuerza asociada a la presión hidrostática en el techo del acuífero habrá lugar para que se rompa el sello y se inicie un proceso de falla progresiva (Hoyos, 1990, 1992, 2006).

A partir de estas consideraciones puede proponerse como mecanismo de falla un proceso de falla progresiva (Skempton, 1964) que puede presentarse donde un manto de regolito con baja permeabilidad suprayace al basamento rocoso, de manera que este constituye un acuífero confinado en cuyo techo el agua puede encontrarse a presión mayor que la presión

atmosférica. El mecanismo de falla, ilustrado en las Figuras 3 y 4, puede ser descrito en términos de los eventos enumerados y descritos a continuación:

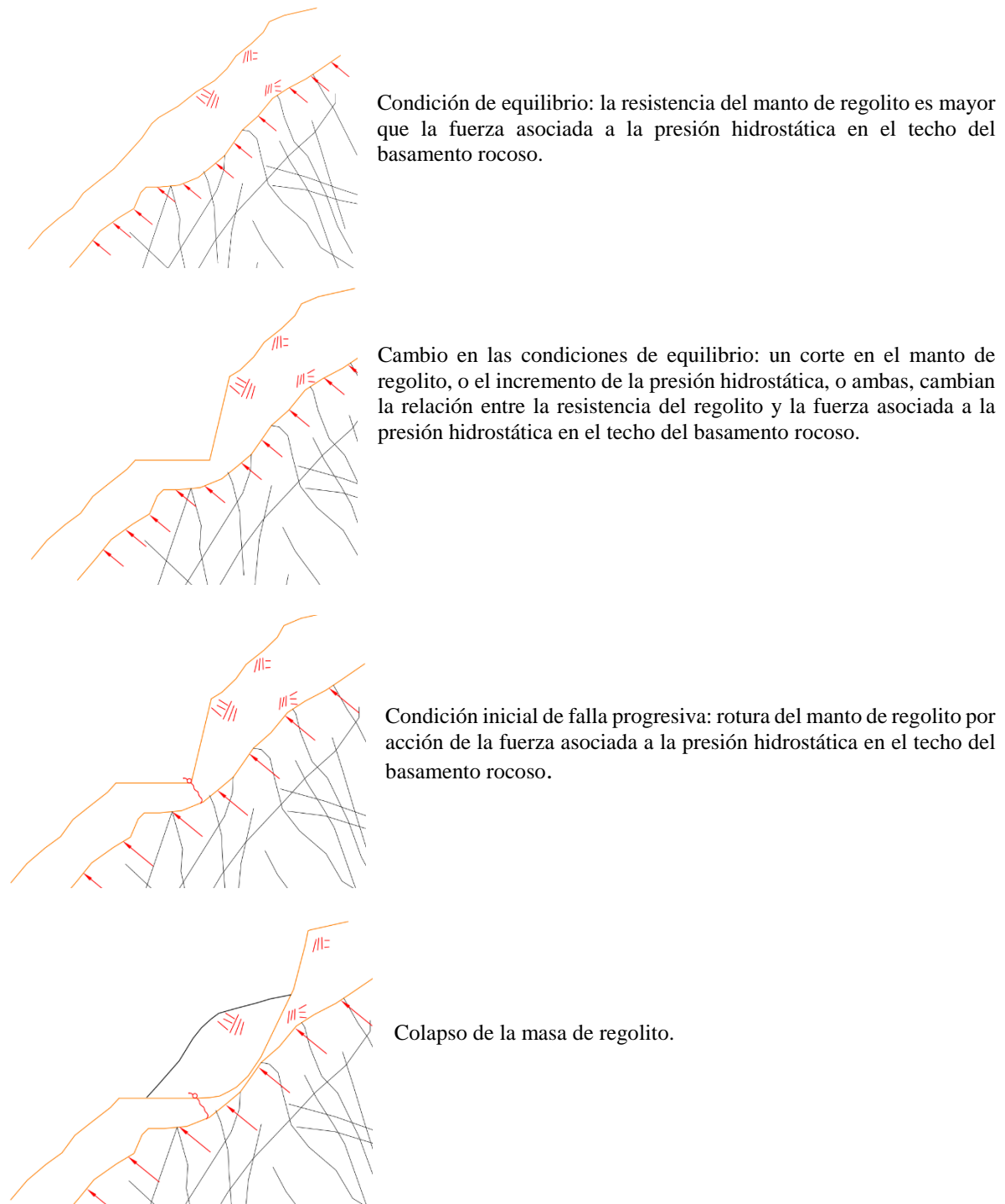
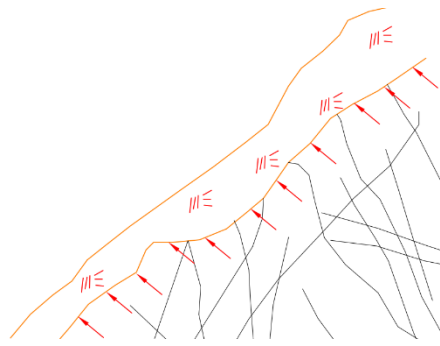
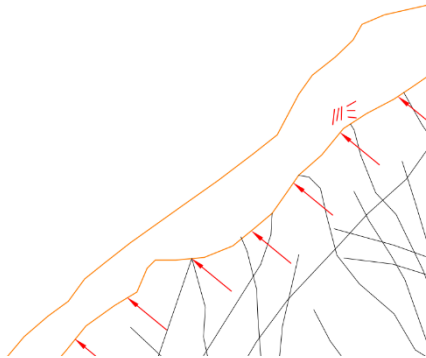


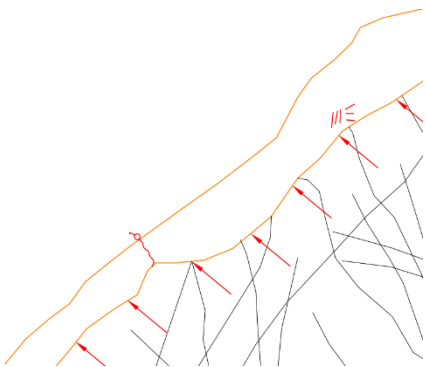
Figura 3. Representación esquemática del mecanismo de falla propuesto con intervención antrópica.



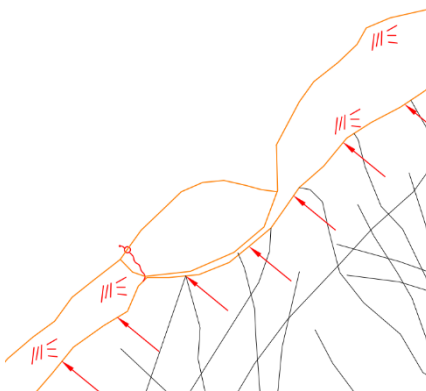
Condición de equilibrio: la resistencia del manto de regolito es mayor que la fuerza asociada a la presión hidrostática en el techo del basamento rocoso.



Cambio en las condiciones de equilibrio: una disminución del espesor del manto de regolito por erosión secular, o el incremento de la presión hidrostática, o ambas, cambian la relación entre la resistencia del regolito y la fuerza asociada a la presión hidrostática en el techo del basamento rocoso.



Condición inicial de falla progresiva: rotura del manto de regolito por acción de la fuerza asociada a la presión hidrostática en el techo del basamento rocoso.



Colapso de la masa de regolito.

Figura 4. Representación esquemática del mecanismo de falla propuesto sin intervención antrópica.

1. Disminución del espesor del regolito y/o aumento del nivel piezométrico hasta el punto en que la resistencia del manto de regolito es menor que la fuerza generada por la presión hidrostática en el techo del acuífero.
2. El manto de regolito, sometido a tensión, sufre una primera fractura o conjunto de fracturas que pueden permitir el drenaje de agua desde el acuífero hasta superficie.
3. La fractura inicial constituye una zona de debilidad a partir de la cual se inicia un proceso de falla progresiva (Skempton, 1964).
4. Colapso de la masa de suelo. La geometría de la superficie de deslizamiento puede ser esférica, poliédrica o en cuña, dependiendo de las condiciones particulares del terreno.

Dadas estas condiciones, la localización de un deslizamiento profundo en un sitio específico dependerá principalmente de dos factores: del incremento de la presión del agua en la base del regolito por efecto de la variación en el nivel piezométrico del agua subterránea, y de la descarga ocasional de parte de la cobertura de regolito por efecto de la erosión superficial secular, de movimientos de masa someros, o la ejecución de explanaciones para obras civiles. Una sola de estas causas puede ser suficiente para desencadenar un deslizamiento profundo, aunque bien puede considerarse que la situación más corriente es el resultado de la combinación de ambos elementos del proceso

EL MARCO HIDROGEOLÓGICO

El sistema hidrogeológico en la zona comprendida entre el Valle de Aburrá, cuyo fondo se encuentra a 1500 msnm, y el Valle de San Nicolás, a 2100 msnm, es complejo debido a la existencia de dos grandes áreas de recarga: el Valle de San Nicolás y el Planalto de Santa Elena-Piedras Blancas, localizado entre ambos valles a 2600 msnm, y a las diferencias de elevación media entre esas tres unidades geomorfológicas, entre 400 y 1000 m. Aunque el sistema hidrogeológico regional se hace más complejo a medida que se consideran límites más amplios es posible hacer generalizaciones válidas si el análisis se restringe a la zona entre los valles de Aburrá y de San Nicolás.

El Valle de San Nicolás con sus vegas y terrazas aluviales y sus colinas saprolíticas, el Planalto de Santa Elena con su paisaje de colinas saprolíticas, y el escarpe oriental del Valle de Aburrá, constituyen las unidades geomorfológicas relevantes en el balance hidrogeológico en la zona de interés en este artículo. La vertiente oriental del Valle de Aburrá está desarrollada sobre suelos residuales cohesivos de muy baja permeabilidad derivados de dunitas, anfíbolitas, esquistos y granitoides y sobre extensos depósitos de flujos de lodo y escombros. La permeabilidad secundaria es menor en el regolito que en el macizo rocoso que tiene las características de un acuífero confinado. Son valores de conductividad hidráulica típicos del regolito 10^{-7} a 10^{-10} m/s, y 10^{-5} a 10^{-6} m/s en el macizo rocoso.

La investigación hidrogeológica regional, ha permitido formular un modelo con base en el balance hidrológico, validado con los resultados de investigaciones geofísicas, e información hidrogeoquímica e isotópica (Hoyos & Arnason, 1994, 1996, Hoyos et al, 1996, Hoyos 2012). Los elementos generales del modelo permiten afirmar que las aguas subterráneas en el Valle de Aburrá proceden en su mayor parte del Valle de San Nicolás, y en menor proporción del Planalto de Santa Elena, y que existe una conexión hidráulica entre el Planalto de Santa Elena, el Altiplano de Rionegro y el Valle de Aburrá, y entre estos dos últimos, a través del macizo rocoso a lo largo de las fracturas de la roca. Adicionalmente, el campo de

dolinas de Santa Elena y sus prolongaciones hacia el Valle de Aburrá constituyen una conexión hidráulica evidente que ha sido verificada también mediante técnicas isotópicas y trazadores químicos, restringido al sector comprendido entre las quebradas Santa Elena y La Presidenta (Herrera et al, 2005, Hoyos, 1992, Rodríguez, 1989).

La investigación hidrogeológica con isótopos estables de hidrógeno y oxígeno han permitido asegurar que el agua subterránea que aflora en manantiales por encima de la cota 2100 m procede en su totalidad del Planalto de Santa Elena, en tanto que el agua subterránea que aflora en manantiales por debajo de la cota 1900 m procede en su totalidad del Valle de San Nicolás. Entre las cotas 1900 m y 2000 m, el agua subterránea en los manantiales es una mezcla de agua procedente de una y otra zona de recarga (Hoyos, 2012).

Con base en los datos disponibles puede afirmarse que las variaciones del nivel piezométrico en las laderas orientales del Valle de Aburrá están asociadas a las variaciones de la precipitación en el Planalto de Santa Elena y en el Valle de San Nicolás respecto a las cuales presentan un rezago de varios meses.

Salvo los depósitos aluviales, los geomateriales de este sistema no permiten la circulación de agua libre, excepto a lo largo de sus discontinuidades, de modo que el flujo subterráneo entre las áreas de recarga y el fondo de los valles ocurre a lo largo de las discontinuidades del regolito y del macizo rocoso.

La ocurrencia de manantiales que afloran con una presión mayor que la atmosférica, y pozos perforados en los que el nivel piezométrico se encuentra por encima de la posición del nivel superior del acuífero indican que efectivamente el macizo rocoso funciona como un acuífero confinado para el que el regolito hace el papel de sello impermeable.

ANÁLISIS NUMÉRICO

El modelo conceptual propuesto en este artículo puede ser simulado mediante los softwares existentes, sea agregando una fuerza, equivalente a la presión hidrostática, distribuida en la base del regolito, sea introduciendo una línea piezométrica cuya posición esté definida de acuerdo con las características probables o posibles del acuífero.

Para efectos de modelación se usaron los programas GeoStudio 2012 y Slide 6.0 de Rocscience. Los análisis de estabilidad fueron desarrollados con dos softwares diferentes con el objeto de modelar el proceso de falla descrito con dos criterios distintos. En los casos de Alto Verde y Manantiales el modelamiento incluyó la modificación del terreno por corte que, combinada con una presión hidrostática crítica en la base del manto de regolito, desencadenó el proceso de movimiento en masa. Los resultados del análisis se encuentran en la Tabla 2.

Los análisis de estabilidad fueron ejecutados inicialmente de forma convencional, utilizando los métodos de Janbu, Bishop y Morgenstern & Price, con resultados similares; en todos los casos el factor de seguridad fue mayor que la unidad. En una segunda etapa se introdujo la fuerza requerida para producir la falla, como fuerza asociada a la presión hidrostática en el techo del acuífero confinado.

Con el software GeoStudio 2012, se simula una presión artesiana bajo un manto impermeable sometido a una presión en los poros adicional; con este propósito se modeló el regolito como material impermeable; la línea piezométrica fue reubicada una y otra vez hasta determinar

una altura en la que la presión originada por la misma, hiciera que el talud entrará en desequilibrio y el factor de seguridad fuera ligeramente menor a uno.

En el programa Slide 6.0 se simuló la presión del acuífero confinado agregando una carga distribuida equivalente a la presión hidrostática crítica definida con el programa GeoStudio 2012, para simular la presión generada por el acuífero confinado; la magnitud de esta sobrecarga fue seleccionada de manera que los factores de seguridad fueran ligeramente menores que uno, como criterio de falla.

La magnitud de la presión hidrostática en la base del regolito necesaria para hacer fallar el terreno, se encuentran en el intervalo equivalente a 4 - 15 m de cabeza hidráulica, que se corresponden con las variaciones observadas en el Valle de Aburrá y en la Terraza de Bucaramanga, sitios ambos donde la posición del nivel piezométrico ha sido registrada durante varios años.

Tabla 2. Resumen de resultados del análisis de estabilidad.

Evento	Condición	GeoStudio 2012			Slide 6.0		
		Morgenstern & Price	Janbu	Bishop	Morgenstern & Price	Janbu	Bishop
Alto Verde	Convencional	1.358	1.344	1.359	1.426	1.372	1.434
	Con presión hidrostática en el techo del acuífero	0.991	0.994	0.997	0.958	0.979	0.959
	Intervalo de presiones (kPa)	51-79	43-80	49-79	48	40	48
Presidenta	Convencional	2.207	2.19	2.209	2.2	2.172	2.22
	Con presión hidrostática en el techo del acuífero	0.996	0.991	0.991	0.984	0.958	0.952
	Intervalo de presiones (kPa)	122-143	122-144	123-146	123	123	123
Manantiales	Convencional	1.887	1.821	1.887	2.209	2.019	2.212
	Con presión hidrostática en el techo del acuífero	0.997	0.999	0.999	0.996	0.972	0.997
	Intervalo de presiones (kPa)	97-156	84-144	95-154	100	90	99

CONCLUSIONES

De los planteamientos y datos presentados en este artículo se desprende:

1. En algunos casos el terreno objeto de evaluación por estabilidad tiene las características de un acuífero confinado en el que el regolito hace las veces de acuífero o sello del acuífero. Esa condición puede encontrarse en laderas de alta pendiente limitadas en su parte superior por terrenos de topografía de colinas.
2. Cuando se considere probable la ocurrencia de la condición de acuífero confinado descrita en este artículo conviene evaluar el valor máximo probable de la presión hidrostática en la base del manto de regolito en introducirla en el análisis.

3. Debe considerarse como una condición necesaria de estabilidad en laderas que la relación entre la fuerza asociada a la presión hidrostática en la base del manto de regolito respecto a la resistencia al corte de la misma sea menor que la unidad.
4. La aproximación propuesta en este artículo puede ser mejorada sustancialmente si se examina la condición de rotura inicial en términos de la presión hidrostática requerida para producirla, y se introduce una grieta en la zona de rotura como elemento desencadenante de la falla progresiva.
5. Cuando el análisis indique la amenaza por movimiento en masa que se ajuste a este tipo de mecanismo, conviene instalar los drenajes necesarios para disminuir la presión hidrostática en la base del regolito hasta un valor que la haga inocua.

REFERENCIAS.

- Aboshi, T., 1977, Concentrated rainfall and slope failure, Manual for Zonation on Areas Susceptible to Rain Induced Slope Failure, Asian Technical Committee on Geotechnology for Natural Hazards, ISSMFE, Japanese Geotechnical Society.
- Área Metropolitana, 2011, Modelo hidrogeológico conceptual de la ladera suroriental de Medellín (cuencas altas de las quebradas La Poblada, La Presidenta y La Sanín). Informe presentado por Solingral S.A Medellín.
- Aristizábal, E., 2006, Geomorfología Aplicada a la Ocurrencia de Deslizamientos en el Valle de Aburrá, DYNA, 73(149), 5-16.
- Aristizabal, E., González, T., Montoya, J., Vélez, J., Martínez, H., & Guerra, A., 2011. Análisis de umbrales empíricos de lluvia para el pronóstico de movimientos en masa en el Valle de Aburrá, Colombia. Revista EIA, 95-111.
- Brand, E.W., 1985, Predictioning the performance of residual soil slopes, 11th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Proceedings, Stockholm. V3, 2541-2578.
- Caine, N., 1980, Rainfall intensity duration control of shallow slides and debris flows, Geografiska Annalen, 62A, 23 27.
- Campbell, R.H., 1975, Soil slips, debris flows and rainstorms in the Santa Monica Mountains and Vicinity Southern California, U.S. Geological Survey Professional paper, #851
- Canuti, P., Focardi, P. & Garzonico, C.A. 1985, Correlation between rainfall and landslides, Bulletin Geologie de l'Ingenieur, París.
- Ceccarini, F., Focardi, P. & Zanchi, C., 1981, Modello per la previsione delle oscillazioni de falda in funzione dei parametri climatici, Istituto Sperimentale Studio Difesa Suolo, Firenze #12, pp 161 164.
- Chleborad, A. F., 2001, Preliminary method for anticipating the occurrence of precipitation-induced landslides in Seattle, Washington. U.S. Geological Survey.
- Crozier, M.J., 1982, A technique for predicting the probability of mudflow and rapid landslide occurrence, International Seminar on Landslides and Mudflows, Alma Ata, USSR, Proceedings, pm 420-430, Unesco, Paris.
- Crozier, M.J. & Eyles., R.J., 1980, Assesing the probability of rapid mass movement, New Zealand Institution of Engineers Technical Groups, 6, 1,2.47-2.51.
- Crozier, M.J., Eyles, R.J., Marz, S.L., McConchie, J.A. & Owen, R.C., 1980, Distribution of landslips in Wairapapa hill country, New Zealand Journal of Geology and Geophysics, 23, 575-586.
- García, E. F., 2012, Análisis numéricos acoplados para el estudio de infiltración y estabilidad de taludes. Primer Seminario de Movimientos en Masa Detonados por Lluvia. Medellín.

- Gómez Isidro, Sully, 1989, Predicción de niveles freáticos a partir de la precipitación y su influencia en la estabilidad de taludes (caso de aplicación en la meseta de Bucaramanga). Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 180p.
- Gómez Isidro S., y Vélez M.V., 1990, Predicción de las fluctuaciones de niveles freáticos a partir de precipitaciones y su influencia en la estabilidad de taludes en la Meseta de Bucaramanga, I Conferencia Colombiana de Geología Ambiental, Resúmenes, p. 20, Sociedad Colombiana de Geología, Medellín.
- Gudicini, G. and Iwasa, O.Y., 1977, Tentative correlation rainfall and landslides in a humid tropic environment, Bulletin International Association Engineering Geology, Sao Paulo, #16, pp 13 20
- Gudicini, G. & Iwasa, D., 1977, Tentative correlation between rainfall and landslides in a humid tropical environment, Bulletin of the International Association of Engineering Geology, Symposium on Landslides and other Mass Movements, 13-20.
- Hermelin, M., 2005, Desastres de origen natural en Colombia 1979 - 2004. Medellín: Fondo Editorial Universidad EAFIT.
- Herrera, J., 2003, Carso de Alta Montaña en Santa Elena; Implicaciones Hidrológicas e Hidrogeológicas en el Valle de Aburrá. Tesis de Maestría. Posgrado en Recursos Hidráulicos. Medellín.
- Herrera, J., Hoyos, F. & Vélez, I., 2004, El acuífero cársico de las dunitas de Medellín, Primer Congreso Colombiano de Hidrogeología, Memorias, Medellín. www.academia.edu
- Hoyos, F., 1985, Régimen de aguas subterráneas en suelos residuales profundos derivados de rocas cristalinas en la Cordillera Central, II Simposio Colombiano de Hidrogeología, Memorias, p. 107-125, Bogotá.
- Hoyos, F., 1990, Efectos de infiltraciones distantes en la inestabilidad de laderas de alta pendiente, Boletín de Vías, XVII, 71, 96-129.
- Hoyos, F., 2001, Precipitaciones y deslizamientos, elementos hidrológicos e hidrogeológicos en el análisis de estabilidad de laderas, III Seminario Panamericano de deslizamientos, Memorias, 327-336, Cartagena.
- Hoyos, F., 2007, Elementos hidrológicos e hidrogeológicos en el análisis de estabilidad de laderas. www.academia.edu.co
- Hoyos, F., 2012. Discriminación de flujos subterráneos hacia el Valle de Aburrá desde el Planalto de Santa Elena y los Valles de San Nicolás. Medellín. www.academia.edu
- Hoyos, F., 2012. Hidrogeología de la zona central de Antioquia. Medellín. www.academia.edu
- Hoyos, F. & Arnason, B., 1994, Claves isotópicas en la hidrogeología de alta montaña, Boletín de Vías, XXI, 90, 51-64.
- Hoyos, F. & Arnason, B., 1996, El caso del gradiente cero: hidrología isotópica en la Zona Central de Antioquia. Seminario Nacional de hidráulica. Memorias pp195-206. Bogotá 1996
- Hoyos, F., Arnason, B. & Salazar, B., 1996, Del altiplano al valle: una conexión hidráulica inferida a partir de información isotópica. Congreso Latinoamericano de Hidráulica. Memorias pp 379-389. Guayaquil 1996.
- Hoyos, F, Vélez U., J & Vélez O., M.V., 1992, The Moses Rod, Bulletin of the Association of Engineering Geologists, XXXI, 133-149
- Hormaza, M., 1991, Investigación Preliminar de las Causas Probables de Deslizamientos en las Laderas de Medellín. Medellín, Antioquia, Colombia: Tesis Facultad de Minas, Universidad Nacional.
- INTEINSA S.A., 2008, Deslizamiento Alto Verde Sector La Cola del Zorro. Medellín.
- Marín Nieto, L., 2001, Alerta temprana para deslizamientos causados por lluvias durante el Niño, III Simposio Panamericano de Deslizamientos, Memorias, 319-326, Cartagena.
- Paz, C. y Torres P., 1989, Precipitación y su influencia sobre algunos deslizamientos en las laderas del Valle de Aburrá, Trabajo dirigido de grado, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, 174 p.

Polanco, C., 2000, inventario y sistematización de los eventos naturales ocurridos en los municipios jurisdicción de Corantioquia, entre los años 1920 y 1999. Medellín, Antioquia, Colombia: Tesis, Universidad de EAFIT.

Rodríguez, C., 1989, Control de deslizamientos con manejo del agua subterránea, I Simposio Suramericano de Deslizamientos, Memorias, 517-534, Paipa.

Salcedo, D., 2001, Características y aspectos socioeconómicos de los flujos torrenciales catastróficos de diciembre de 1999, en el Estado Vargas y el Área Metropolitana de Caracas, III Simposio Panamericano de Deslizamientos, Memorias, 291-318, Cartagena

Sidle, R.C., Pearce, A.J., O Loughlin, C.L., 1985, Hillslope stability and land use, American Geophysical Union, Washington, 140 p.

Skempton, W., 1964, Long-term stability of clay slopes, Geotechnique, 14, 75-101.

Vargas. M., 1971, Effects of rainfall in groundwater levels, Panamerican Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Proceedings, p 138-141, N. York.

Vélez, M V., Montoya, J. D., Moreno, H.A., Rhenals, R. L. & Polanco, C., 2002, La lluvia y su Influencia sobre los deslizamientos en el Departamento de Antioquia, Colombia.



Síguenos en nuestras redes sociales

in Instagram Facebook YouTube

SAI antioquia

A hand holding a smartphone displaying the SAI Antioquia social media profile is shown on the left. The background is a dimly lit lecture hall with an audience seated at tables.



#SomosSAI

¡Ser Socio SAI trae sus beneficios!

Afíliate

A man in a suit and glasses is smiling and looking at his smartphone. A hand cursor icon points to the 'Afíliate' button.

HACIA EL DESARROLLO DE PARQUES TECNOLÓGICOS AMBIENTALES PARA LA DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS MUNICIPALES: VISIÓN ESTRATÉGICA

Walter Ospina Ortiz

*Ingeniero Electricista, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia,
Máster Gestión de Riesgos, Universidad Católica San Antonio, Murcia, España
Gerencia de Proyectos, ESUMER, Medellín, Colombia*

RESUMEN

La construcción de *Parques Tecnológicos Ambientales* para el tratamiento final de los *Residuos Sólidos Municipales (RSM)*, en Colombia y los países de LAC (Latinoamérica y el Caribe), es la mejor alternativa que los alcaldes y gobernadores pueden encontrar en la búsqueda de soluciones que hoy día hacen para resolver el problema de la disposición final de los residuos sólidos municipales.

Palabras clave: Valorización energética, cambio climático, captura de carbono, uso y almacenamiento de carbono, ruta biológica, ruta térmica

INTRODUCCIÓN

Si Colombia estableciera objetivos de disposición final de residuos en rellenos sanitarios y de reciclaje, como lo hecho la Comunidad Europea para el 2035 (10% para disposición final y 65% de reciclaje), la pregunta sería, ¿qué debe hacerse con la fracción resto de esos residuos en los municipios grandes, medianos y pequeños?

La valorización energética de los residuos sólidos municipales (RSM), bien sea utilizando la ruta biológica o la ruta térmica, es primordial en una economía que se llame circular o que pretenda serlo. También es un factor que contribuye a los objetivos de cambio climático de los países de América Latina y del Caribe, región LAC.

APORTES DE LA VALORIZACIÓN ENERGÉTICA DE LOS RSM A LA ECONOMÍA CIRCULAR, AL MEDIO AMBIENTE Y AL CAMBIO CLIMÁTICO

La valorización energética de los RSM cumple una función higiénica al tratar los residuos que quedan después de las actividades de recuperación de materiales que hacen los recolectores, muchos de ellos personas sin empleo formal, durante las noches y durante el día, abriendo las bolsas de basura o algunos indigentes recibiendo de casas y de algunos comercios, limosnas en forma de residuos aprovechables.

Además, la separación mecánica de la fracción orgánica de los RSM mediante plantas

electromecánicas expresamente diseñadas y concebidas con estos propósitos (Que se deben construir a la entrada de los *PARQUES TECNOLÓGICOS AMBIENTALES DE RSM*), con el propósito de ser utilizados como materia prima en plantas de digestión anaeróbica acelerada, que además pueden recibir los residuos orgánicos separados en la fuente, evita que sean depositados en vertederos donde después requieren una planta para tratamiento de lixiviados y una planta para recuperar el metano donde se quema o se utiliza para generar energía eléctrica.

La segunda contribución de la valorización energética de los RSM es la recuperación de la energía que contienen. En un caso, a partir de la fracción orgánica para producir biogás y, en el otro caso, a partir de los residuales de los RSM mediante la combustión. Hay que recordar que en algunos casos los RSM mixtos, con fracción orgánica, también pueden ser tratados térmicamente.

En Colombia y en general en los países de la región LAC, la energía térmica que requieren muchas empresas se sigue produciendo a partir de combustibles fósiles. En estos casos la energía térmica producida por las plantas de valorización energética puede hacer una importante contribución a la mitigación de los cambios climáticos al sustituir el consumo de combustibles fósiles.

A pesar de los avances en las tasas de reciclaje que reportan las ciudades grandes y medianas de los países de la zona LAC, independientemente de que se fundamente en el trabajo informal de personas vulnerables, las tasas de disposición final en vertederos también crecen, y seguirán creciendo si los municipios reportan mayor crecimiento de la actividad económica. Por lo tanto, la contribución de las plantas de valorización energética al evitar que los RSM sean depositados en vertederos es más evidente si se considera un horizonte de 30 años o 50 años, donde se puede observar que el impacto climático sería mucho menor con parques ambientales de RSM que con más vertederos.

En Colombia y en los países de la región LAC, los sistemas de gestión integral y sostenible de RSM que se fundamenten en la buena voluntad de los ciudadanos para garantizar que el reciclaje llegará un día a ser del 100% o que la separación en la fuente llegará algún día a ser del 100%, tendrán que esperar siglos, ya que no existen formas realistas de lograrlo en la actualidad en ningún municipio del mundo. Mientras tanto, se desperdicia la oportunidad de usar tecnologías probadas para el tratamiento final de los RSM. Además, se dejan de aprovechar los beneficios climáticos y ambientales que aportan los *PARQUE TECNOLÓGICOS AMBIENTALES DE RSM*, en comparación con los vertederos.

En el reporte de las naciones unidas: United Nations Environment Programme and Climate and Clean Air Coalition. Global Methane Assessment: Benefits and Costs of Mitigating Methane Emissions, 2021, se concluye que la reducción de las emisiones de metano tiene el mayor potencial para disminuir el calentamiento global en los próximos 20 años. El 2 de noviembre de 2021, en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático en Glasgow (COP26), más de 100 países se unieron a una coalición liderada por Estados Unidos y la UE para reducir las emisiones de metano en un 30% para 2030 (en comparación con los niveles de 2020).

Las plantas de valorización energética que tengan cogeneración generan calor que en las zonas turísticas costeras con temperatura promedio alta durante todo el año y con escasez de agua potable durante el verano, se puede utilizar dicho calor para desalinizar agua de mar y para refrigeración, máxime ahora que los municipios turísticos a orilla de mares y ríos presentan grandes problemas con la disposición final de los RSM, a pesar de lo cual siguen atrayendo más turistas.

En las zonas con fuentes de energía renovables intermitentes, las plantas de valorización sirven como una fuente local de energía de carga base (24/7) que complementa a las otras.

En el futuro, en las ciudades capitales de Colombia y de los países de la región LAC, las tecnologías de uso y captura de carbono complementarán a las plantas de valorización energética de RSM para reducir la huella de carbono hasta el punto de emisiones netas negativas. Hoy día entidades como la *CONFEDERACIÓN EUROPEA DE PLANTAS DE VALORIZACIÓN ENERGÉTICA* (CEWEP por su sigla en inglés), han hecho estudios que demuestran que este tipo de plantas se pueden considerar neutras en cuanto a carbono. Es importante resaltar que estos estudios indican que el 60% del CO₂ emitido por las plantas de valorización de RSM es biogénico y que el 40% es de origen fósil. Por lo tanto, el progreso tecnológico y un crecimiento comercial más amplio de las tecnologías de almacenamiento y uso del CO₂ aumentarán gradualmente la contribución de la valorización energética de los RSM a una región LAC climáticamente neutra.

El desarrollo y aplicación de las tecnologías de almacenamiento y uso del CO₂ y de las tecnologías de producción de hidrogeno en LAC abrirá nuevas oportunidades para el sector de la industria química dado que las tecnologías de valorización energética pueden producir ambos elementos.

EL PLÁSTICO Y LA VALORIZACIÓN ENERGÉTICA DE LOS RSM

Los plásticos son la fuente principal de emisiones de CO₂ en las plantas de valorización energética de RSM, por tanto, los consumidores y productores de plástico deben asumir la responsabilidad que les corresponde. Por ejemplo, los consumidores de plásticos deben usar sólo plástico reciclable. En el mejor de los casos, reducir o eliminar el consumo de este. El plástico no reciclable que no llega a una planta de valorización energética termina en un vertedero, en un río o en el mar, donde puede causar más daño ambiental que el CO₂ que produce al ser tratado térmicamente. Aún menos si este CO₂ es capturado.

Los productores de plásticos vírgenes deben sustituir los fósiles como la materia prima de su producción y practicar más el ecodiseño.

Tanto los productores como los consumidores tienen responsabilidades en la cadena de valor de los residuos y de los productos, si se quiere que el reciclaje sea de mejor calidad y reducir las emisiones de CO₂.

EL ROL DE LOS ALCALDES, GOBERNADORES Y POLÍTICOS EN TEMAS DE DISPOSICIÓN FINAL DE RSM

Los *PARQUES TECNOLÓGICOS AMBIENTALES* para el tratamiento de RSM con plantas de valorización energética, bien sea por la ruta biológica o por la ruta térmica o por ambas, contribuyen a la solución de los problemas asociados a la disposición final de los residuos, tanto en ciudades grandes o en una subregión conformada por un grupo de pequeños municipios colindantes. También contribuyen a lograr la reducción de emisiones que se hayan propuesto los países de LAC, pero es necesario que los funcionarios públicos y los políticos propicien algunas condiciones para que este tipo de proyectos puedan desarrollarse y ejecutarse en cualquier país de LAC.

- Aplicar la jerarquía de los RSM
- Minimizar las emisiones de metano de los vertederos
- Objetivos de reciclaje y disposición final de residuos industriales más ambiciosos que para los residuos del sector residencial.
- Inversión pública

En la jerarquía de los RSM la prevención y el reciclaje está por encima de la valorización energética, pero la valorización está por encima de la disposición final de los RSM en vertederos.

A los vertederos existentes las autoridades deben exigirles la aplicación de tecnologías de captura y uso del metano. No limitarse a exigir la quema en teas, que por demás liberan CO₂.

A la industria existente y la industria nueva, se deben exigir objetivos de reciclaje y de disposición final más exigentes que para los residuos del sector residencial, para comprometerlos en la solución al tratamiento final de los residuos y para que contribuyan a la reducción de emisiones.

La disposición final de los RSM son responsabilidad de cada uno de los municipios, por tanto, los proyectos de valorización energética de RSM deben ejecutarse con inversión pública. Pero tomar ese tipo de decisiones requiere de estudios que las soporten y que evalúen con profundidad los beneficios sociales, ambientales, de sostenibilidad y para la economía de la región. La evaluación no debe limitarse a criterios puramente financieros. Hacer un *PARQUE TECNOLÓGICO AMBIENTAL* para el tratamiento de los RSM es similar a construir un hospital, ambos se hacen para proveer salud y bienestar a la comunidad, no tienen que ser empresas que provean la mayor parte de los ingresos del municipio.

EL TURISMO Y LA DISPOSICIÓN FINAL DE LOS RSM

Los turistas nacionales e internacionales ya están considerando dentro de sus criterios para visitar ciudades y países, la gestión que se hace del agua potable, las aguas residuales y la recolección y disposición final de los residuos. Esto implica que los sitios más turísticos hoy día, pueden perder parte o la totalidad de esa actividad por la mala gestión de los servicios públicos.

CONCLUSIONES

Construir *PARQUES TECNOLÓGICOS AMBIENTALES DE RSM* con plantas de valorización energética y plantas de recuperación de materiales que pueden ser reciclados por el sector industrial del país es una contribución del sector público (municipios y departamentos) hacia una economía circular.

La energía térmica o eléctrica que se produzca en las plantas de valorización energética de los *PARQUES TECNOLÓGICOS AMBIENTALES DE RSM*, contribuye al sistema eléctrico nacional si se considera que en las épocas de sequía las pequeñas centrales hidroeléctricas producen mucho menos y que el suministro de las plantas de valorización energética es más estable si se compara con plantas solares o eólicas de igual capacidad. Excepto cuando las comunidades dejan de generar residuos para depositar en dichos parques.

Evitar que materiales que pueden ser reciclados por la industria del país sean enterrados en vertederos, es una contribución que disminuye los impactos del cambio climático y debe ser considerado un beneficio cuando se haga la valoración del *PARQUE TECNOLÓGICO AMBIENTAL*.

Los estudios de valoración de los *PARQUES TECNOLÓGICOS AMBIENTALES DE RSM* con plantas de valorización energética deben estimar las emisiones de CO₂ biológico y de CO₂ fósil y analizar la compensación de cada uno, para determinar la verdadera huella de carbono del proyecto.

Solucionar la problemática de la disposición final de los RSM en las ciudades y municipios de LAC, contribuye para que la actividad turística no sea castigada por los viajeros con criterios ambientalistas y de cambio climático.

REFERENCIAS

CEWEP (Jun 2022), waste-to-energy climate roadmap technical annex (ta) main assumptions & methodology, <https://www.cewep.eu>

ESWET (2021), Eswet position for the proposed revision of the renewable energy directive, <https://eswet.eu>

UNEP AND CCAC (2021), United Nations Environment Programme and Climate and Clean Air Coalition. Global Methane Assessment: Benefits and Costs of Mitigating Methane Emissions, <https://www.unep.or>

APORTES Y APUESTAS DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE ORIENTE AL SECTOR AEROESPACIAL

Ceballos Uribe, Sebastián,¹; Ríos Betancur, Wolfy Leandro²

¹Magister en Gerencia de la Innovación y del Conocimiento, EAFIT, Medellín, Colombia, 2018

²Magister en Administración, Universidad Viña del mar, Valparaiso, Chile, 2014

RESUMEN

El artículo enuncia los aportes académicos, investigativos y de extensión realizados por la Universidad Católica de Oriente al sector aeroespacial desde el 2015 hasta la fecha, así como las apuestas de la Universidad en dicha materia para el futuro próximo, enmarcados en el plan estratégico aeronáutico 2030 y la agenda de Antioquia 2040.

Palabras clave: Territorio, Aeroespacial, Universidad

DESARROLLO

En el marco del plan estratégico aeronáutico 2030 de la Aeronáutica Civil de Colombia, se prevé como tendencia que el aeropuerto José María Córdova duplicará su capacidad en los próximos años, lo que permitirá una mayor llegada y salida de pasajeros, lo que trae consigo la promoción y desarrollo del turismo en el departamento, además del incremento en el movimiento de carga, pues Antioquia es el departamento con mayor nivel de exportaciones de Colombia, lo que está generando un incremento de las operaciones logísticas y de distribución, conectando con las capacidades terrestres del territorio y la conectividad que está teniendo la subregión del oriente antioqueño con los puertos del Pacífico y con Cundinamarca y Bogotá por el Magdalena Medio y la conexión con los puertos del Caribe. El asentamiento de industrias que se están desplazando desde el Valle del aburra incrementa las necesidades logísticas. La llegada de nuevas aerolíneas dinamiza la economía de la zona con más empleos y servicios auxiliares y conexos, demanda de viviendas para los empleados de las empresas del sector aeronáutico, así como servicios de catering para los vuelos nacionales e internacionales y los demás servicios conexos que se requieren.

De otro lado, uno de los macroprocesos territoriales definidos en la Agenda Antioquia 2040 para los próximos años, es el de la Región Aeroportuaria de Oriente, el cual busca la generación de un “Plan Estratégico que conciba el aeropuerto como la parte central de un engranaje que se complementa y conecta con aspectos tan relevantes como la planeación estratégica del ordenamiento territorial, la eficiente conectividad vial y tecnológica y de sistemas de transporte de pasajeros entre los valles de Aburrá y San Nicolás y los corredores industriales y de servicios que tienen que apostar por la innovación y la tecnología para la generación de productos con alto valor agregado que permitan destacar la región en el concierto nacional e internacional.” (Resumen Región Aeroportuaria de Oriente, p4).

La Universidad Católica de Oriente enmarcada en su plan estratégico de desarrollo 2017 – 2022 “UCO para todos”, establece los retos para la región del Oriente Antioqueño, entre ellos el de “constituir una Aerópolis alrededor del aeropuerto Jose María Córdova a futuro (2036), lo cual es un reto no solo para Rionegro sino para la Universidad, ya que aunque hay factores positivos para su materialización, también hay enormes desafíos de todo orden: en lo político, económico, en ciencia y tecnología, en lo ambiental y en materia de planeamiento del territorio e infraestructura” (Comunicación Dr. Francisco Restrepo, 2016). En este sentido ha venido contribuyendo al fortalecimiento del sector aeroespacial en la sub región del Oriente Antioqueño, a través de la materialización de alianzas con actores claves del sector, programas de formación, proyectos de extensión, investigación, desarrollo e innovación, y con espacios de reflexión, permitiendo la cualificación del talento humano y el fortalecimiento de las capacidades de las industrias e instituciones, para dar respuesta a los desafíos que se están presentando en el territorio. Las cuales se presentan a continuación:

Aportes de la UCO al sector Aeroespacial

Se coordina el primer seminario de prospectiva regional del sector aeronáutico que se realizó en el año 2013 en alianza con la Fuerza aérea colombiana y la Universidad Católica de Oriente, ponencias y diálogos que reflexionaban sobre las grandes oportunidades para el sector en la próxima década; en tal sentido y como respuesta a estas dinámicas la institución crea el Centro de Estudios Aeronáuticos con el objetivo de integrarnos a la cadena de valor de la aviación mediante diferentes convenios y alianzas estratégicas y dinamiza un escenario de formación e investigación al interior de la institución.

En este mismo año, se establece el convenio de cooperación interinstitucional con la Escuela de Aviación los Halcones, el cual tiene el objetivo de fortalecer e intensificar la cooperación entre ambas instituciones en materia aeronáutica, y es entonces como en el 2016 se realiza el diplomado Gestión del Transporte Aéreo para fortalecer capacidades en los que ya operan el sector, se desarrolló en dos cohortes una en Rionegro y otra en Medellín en la sede de la Escuela.

La relación de la Universidad Católica de Oriente y la Fuerza Aérea Colombiana y su Centro de desarrollo tecnológico -CETAD en la Base ubicada en Rionegro Antioquia es de tradición, en reiterados escenarios los ingenieros de la institución, especialmente Electrónicos y de Sistemas participaron en procesos de desarrollo de tecnologías; posteriormente en el 2014 se firma convenio con la Escuela de Posgrados de la Fuerza Aérea Colombiana para desarrollar procesos de formación y desarrollo de capacidades en la región del Oriente Antioqueño.

En el año 2015 se realizaron proyectos de investigación, desarrollo e innovación para el desarrollo de capacidades tecnológicas, mediante procesos de ingeniería, en el sector aeronáutico, con el desarrollo de un prototipo de empaquetadura del tren de aterrizaje C-130 para avión hércules de la fuerza pública, a través de metodología de ingeniería inversa en alianza Universidad y Empresa, de la mano de la facultad de ingenierías con el programa Ingeniería industrial y las empresas Oriontech y Maquinamos Industrias, de Medellín y Marinilla respectivamente. Teniendo como resultados la certificación de personal de las dos empresas y estudiantes y docentes en el manejo de herramientas de software para el diseño de piezas,

el diseño y la producción de la empaquetadura, y el diseño de una metodología de sustitución de partes.

En el 2016 se realiza el diplomado de gestión y desarrollo aeronáutico articulado con los programas de ingeniería industrial y administración de empresas, con el cual se fortalecieron las competencias de estudiantes y de los profesionales de la región con interés en el sector.

En este mismo año el 17 y 18 de noviembre se realizó el primer foro internacional Aerópolis con la participación de Airplan, la Aeronáutica Civil de Colombia, la Fuerza Aérea Colombiana, la Universidad Aeronáutica de Querétaro, el Clúster Aeronáutico de Baja California y alcaldes y autoridades de la sub región y del departamento de Antioquia, un espacio propiciado para el debate y análisis alrededor de la industria aeronáutica enfocado a los retos y desafíos del territorio frente al sector.

Posteriormente al evento de Aerópolis, se realiza la participación en el Congreso Internacional de Logística Aeronáutica en la Escuela de Posgrado de la Fuerza Aérea Colombiana con la ponencia “Puerto Seco del Oriente Antioqueño” ponencia realizada por la coordinadora del programa de comercio exterior y el coordinador de ingeniería industrial, propuesta que surge con la pregunta de “definir si es factible contar con un patio de contenedores y un puerto seco en el Oriente Antioqueño – Subregión: altiplano y que pretende influenciar fuertemente la balanza hacia los mercados internacionales, frente al dinamismo de la región en el movimiento de carga y los sobrecostos que se generan al recoger el contenedor en Caldas.” (Memorias Congreso Internacional de Logística Aeronáutica Vol. 1, 2016)

En el 2017 a través del convenio que se firma con la Universidad Aeronáutica de Querétaro de México, y en el marco del proyecto de investigación “torrefacción de residuos sólidos en el Aeropuerto Internacional Jose Maria Córdova de Rionegro” del programa de ingeniería industrial, se realiza la movilidad de docentes y estudiantes de dicha universidad Mexicana a la UCO, con lo cual se realiza un piloto de torrefacción de los residuos aeroportuarios que generan en dicho aeropuerto, donde se generó una metodología para la torrefacción de residuos sólidos en los aeropuertos, la cual posteriormente es transferida en el Aeropuerto Internacional de Querétaro en México. Generando una solución para la disposición de residuos sólidos y mejoramiento del impacto ambiental.

Para este mismo año la UCO hace presencia en la F-Air Colombia 2017, con toda su oferta de servicios educativos con sus aliados.

En el 2018 en articulación con la corporación CIPSELA y el municipio de Rionegro en la semana de la juventud innovadora y la semana Innovamáter de la UCO, se realiza el foro aeronáutico, donde se generaron ponencias y reflexiones con referencia a las oportunidades y desafíos del Aeropuerto Internacional Jose Maria Córdova de Rionegro.

En el 2020 se realiza de la mano del Clúster Aeroespacial Colombiano CAESCOL, la Universidad Pontificia Bolivariana y con el apoyo de las Cámaras de Comercio del Oriente Antioqueño y del Aburra Sur, el curso de introducción a la ingeniería aeronáutica para

proveedores de Aero partes, en el cual participaron 25 representantes de empresas de las dos subregiones, fortaleciendo los conocimientos y las competencias de las personas en el ámbito aeronáutico y la importancia para que las empresas se inserten en el mercado aeronáutico.

En el marco del convenio que tiene la UCO con el Centro de Desarrollo Tecnológico y Aeroespacial para la Defensa CETAD de la Fuerza Aérea Colombiana, se continúan generando aportes por parte de estudiantes y egresados de ingeniería electrónica con diferentes desarrollos mediante trabajos de grado, prácticas y proyectos de investigación.

A finales del 2021 se firmó un convenio con la Aeronáutica Civil de Colombia y su Centro de Estudios Aeronáuticos - CEA, cuyo objetivo es el adelantar acciones de cooperación e intercambio interinstitucional en actividades académicas, programas de formación, investigación, extensión, proyección social y movilidad académica, en este contexto se realiza en diciembre del mismo año de la mano de la facultad de ciencias sociales, el taller formativo en habilidades blandas y habilidades sociales para 30 funcionarios de la Aerocivil de diferentes regiones del país.

A través del Centro de Estudios Territoriales – CET de la UCO, se realizó también el proyecto del componente de planificación estratégica territorial del proyecto “Región Aeroportuaria de Oriente” con la revisión de los PBOT de los municipios de Rionegro, Marinilla y Guarne, y generando las recomendaciones a los planes básicos de ordenamiento de los municipios.

En el 2022, respondiendo a la iniciativa estratégica de acción e innovación territorial de “Fortalecer las líneas de acción del Centro de Estudios Territoriales para mayor efectividad en los proyectos que se implementen” del programa de desarrollo territorial del Plan Estratégico de Desarrollo 2017 – 2022 “UCO para todos” se establece desde la dirección de Posicionamiento, Extensión y Proyección Social la línea aeroespacial del Centro de Estudios Territoriales, cuyo objetivo es aportar al desarrollo y consolidación del sector aeroespacial del Oriente Antioqueño, de Antioquia y del país a través proyectos de formación, extensión y proyección social.

Se realizó en alianza con la corporación CIPSELA, la certificación de 29 estudiantes del colegio Monseñor Alfonso Uribe Jaramillo y de primeros semestres de la facultad de ingenierías, del semillero "Hacia los cielos explorando la aviación", a través de metodologías STEAM, el cual permitió a los niños, niñas y jóvenes adentrarse en el mundo de la ingeniería aeronáutica. En este contexto la Universidad participo en la misión momotus realizada en Rionegro, con el lanzamiento de dos globos estratosféricos, los cuales incluían el envío de experimentos preparados por los niños y jóvenes de los semilleros.

En el marco del convenio con la Aeronáutica Civil de Colombia para el 2022 se realizó en abril el foro de reflexiones para el desarrollo sostenible “Segundo Foro Aerópolis” el cual conto con la participación del director nacional de la Aeronáutica Civil, y representantes de las instituciones públicas y privadas del Oriente Antioqueño, donde se realizaron presentaciones alrededor de la operación de los aeropuertos y la proyección y construcción de la segunda pista del aeropuerto José María Córdova.

Para este mismo año entre marzo y mayo, se realizó en la sala de exposiciones del edificio Innovamáter de la UCO, la exposición aeroespacial “el sueño humano de volar y de

conquistar el espacio” la cual conto con la colección aeromodelos del doctor Francisco Restrepo consiliario de la universidad y miembro de la Sociedad Antioqueña de Ingenieros SAI, y con la colección de cohetes de la corporación CIPSELA, en esta, se realizó la conferencia "El tema aeroespacial y sus enormes oportunidades para los jóvenes y niños en el futuro" y la conferencia “historia de la aviación y de la era espacial en el mundo y en Colombia” dirigida a estudiantes, y la conferencia “El impacto de la región aeroespacial en el desarrollo de Antioquia de cara al futuro” dirigida a empresarios e instituciones del Oriente Antioqueño. Con la participación de más de 500 personas.

Se ha socializado el proyecto de “Región Aeroportuaria” liderado por la Cámara de Comercio del Oriente Antioqueño, la Gobernación de Antioquia y la alcaldía de Rionegro, con la mesa de educación del oriente antioqueño MEEDUCA, y a los docentes y al personal administrativo de la UCO.

Con el Clúster Aeroespacial Colombiano - CAESCOL, se renueva convenio marco de cooperación, y para septiembre de 2022 se abre el curso de formación para auditores internos a las empresas de la región en el estándar AS9100 para el sector aeroespacial y de defensa” Lo cual permitirá a las empresas la implementación de dicha norma y que estas se conviertan en replicadores de conocimiento y cultura a la mejora continua en la industria aeroespacial.

Para el mismo año, con la Sociedad Antioqueña de Ingenieros – SAI, se establece convenio de cooperación cuyo propósito es el de desarrollar de manera conjunta proyectos académicos, investigativos y de extensión en áreas de interés común, como ingenierías, aeroespacial y demás temas pertinentes, es así como participamos en la comisión aeroespacial de dicha institución y en un corto plazo el objetivo es gestar y coordinar el capítulo SAI para el Oriente Antioqueño.

Apuesta de la UCO para el sector Aeroespacial

La institución en su plan de desarrollo 2023-2032 integra como propósito para el sector la importancia de propiciar y generar una **Atmósfera regional** en el corto y mediano plazo para el desarrollo de la industria aeronáutica que no solo involucre los territorios y las comunidades del valle de San Nicolás, sino también el Oriente Antioqueño como una oportunidad de desarrollo que dinamizará otros sectores conexos; la UCO le seguirá apostando a fortalecer las competencias de las personas en el sector aeroespacial, a través de programas de formación continua con cursos y diplomados en alianza con instituciones, locales, nacionales e internacionales, lo cual permita de una forma ágil y oportuna responder a las necesidades de cualificación que se requieren en la región y en Antioquia.

En la misma línea de formación se seguirá facilitando y generando el interés de los niños, niñas y jóvenes de los colegios y de la Universidad por lo temas aeroespaciales y de STEAM (science, technology, engineering, arts and maths) a través de semilleros en alianza con diferentes instituciones.

Desde la dirección de Posicionamiento de Extensión y Proyección Social y el Centro de Estudios Territoriales, se seguirán propiciando espacios de reflexión como foros, encuentros

académicos y otros, que permitan seguir aportando al desarrollo y consolidación del sector aeroespacial en la sub región del Oriente Antioqueño, orientando las necesidades de cualificaciones del personal y los campos a fortalecer en el tejido empresarial, que requiere el territorio.

De la misma manera el fortalecimiento de las capacidades de los programas de ingeniería industrial, la especialización de alta gerencia para sistemas integrados de gestión y el programa de administración de empresas enfocadas en aspectos de fortalecimiento de tecnologías, logística, gestión del talento y administración, al igual que las competencias del cuerpo docente en materia de certificaciones de normatividad aeronáutica, a través de proyectos de extensión que permitan la réplica a las empresas, y que a su vez, estas apropien las condiciones necesarias que les permitan ser futuros proveedores de Aeropartes e incursionar en el mercado del sector aeroespacial nacional e internacional.

Ampliar su oferta formativa de pregrado y posgrado y cursos recurrentes para el sector en alianza con la Unidad Administrativa de la Aeronáutica Civil – UAEAC como su aliado regional.

Orientar la construcción del plan estratégico del proyecto Región Aeroportuaria de Oriente, y de la misma manera identificar acciones de mejora y propuestas a los PBOT de los municipios del Oriente Antioqueño a través de estudios de planeación estratégica territorial, para que se inserten en los proyectos de acuerdo los diferentes aspectos a tener en cuenta para el desarrollo y consolidación del sector aeroespacial en la sub región. Así como la participación en la veeduría para la construcción de la segunda pista del Aeropuerto José María Córdova, lo cual permita el desarrollo del megaproyecto, en procura de los derechos de las comunidades implicadas.

En el campo de la investigación, en articulación con la dirección de investigación, innovación y gestión del conocimiento del Centro de Estudios Aeronáuticos de la Aeronáutica Civil de Colombia y la dirección de investigación, desarrollo e innovación de la UCO, se seguirá adelantando el proyecto “Análisis multidimensional de la fatiga en los controladores de tránsito aéreo” el cual articula docentes investigadores de la facultad de ciencias sociales con el programa de psicología y la facultad de ingenierías con el programa de ingeniería industrial, el cual busca analizar el impacto multidimensional de la fatiga en los Controladores de Tránsito Aéreo en Colombia con el fin de determinar estrategias de intervención. Y el proyecto GLOBE, en el cual intervienen docentes investigadores y el cual busca potencializar las habilidades investigativas de niños y jóvenes del programa de ingeniería ambiental de la UCO y del colegio MAUJ a través de semilleros de protocolos de atmosfera.

De la misma manera realizar proyectos de investigación, desarrollo e innovación con las demás instituciones aliadas, los cuales contribuyan a la identificación y solución de problemáticas reales y potenciales que se presentan en el sector.

REFERENCIAS

Agenda Antioquia 2040 (2021). Gobernación de Antioquia.

Memorias Congreso Internacional de Logística Aeronáutica Vol. 1 (2016), p 242

Plan estratégico Aeronáutico 2030 (2019). Unidad administrativa Especial de Aeronáutica Civil.

Plan Estratégico de Desarrollo 2017 – 2022 “UCO para todos” (2017)



Aliados

Te invitamos a que conozcas y participes en los eventos de nuestros Aliados de Comunicación.

Construir el futuro de nuestra ciudad, departamento y país es algo que nos compete a todos; por eso desde la SAI construimos alianzas con grandes empresas para trabajar de forma conjunta por el progreso de nuestros profesionales.



Clasificados SAI

Este espacio lo creamos pensando en ti... Comparte en esta sección tus clasificados, los productos o servicios que desees vender o adquirir.

Nuestro objetivo es acercarte con tu público de interés, envíanos tus clasificados a:

relacionesinstitucionales@sai.org.co

NATURALEZA DE LAS FUENTES DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA POR MATERIAL PARTICULADO EN EL VALLE DE ABURRÁ – ANÁLISIS DE LOS EPISODIOS Y DE LA CUARENTENA DEL COVID EN MARZO DE 2020

Enrique Posada Restrepo

Ingeniero mecánico UPB; BS y master en ingeniería mecánica, University of Maine, Orono, Maine, EUA,

Resumen: Se hace una revisión de los datos de contaminación atmosférica por material particulado PM_{2.5} en las estaciones del sistema SIATA del Valle de Aburrá en Antioquia, Colombia, desde 2015 hasta 2019 y se examinan los episodios que regularmente se presentan en ciertas épocas del año. Aprovechando el hecho de que en marzo de 2020 se experimentó un episodio en épocas de cierre casi total de la actividad debido al Covid-19, se presentan conclusiones sobre el impacto de las fuentes externas sobre los niveles de contaminación y se elabora un modelo del comportamiento de la contaminación para la región, señalando cuáles son las fuentes que la originan y en qué medida son importantes.

Palabras clave: Material particulado, fuentes, Valle de Aburrá, modelos, análisis de datos

EL PROBLEMA AMBIENTAL EN EL VALLE DE ABURRÁ

El material particulado de tamaño fino, llamado PM_{2.5}, ya que tiene un tamaño de menos de 2,5 micrones el contaminante que las autoridades ambientales y de salud de nuestra región consideran como más riesgoso en la atmósfera local. Este material se mide en el ambiente con base en su concentración, que es la masa del mismo que existe en un metro cúbico de aire. Esta masa se mide en microgramos por m³ (millonésimas de gramo por metro cúbico, µg/m³).

Cuenta la región con un muy número de estaciones que miden estas concentraciones, administradas por el sistema de alerta temprana SIATA del Valle de Aburrá, dependiente de la autoridad ambiental del Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA). Se lo puede ver en tiempo real en <https://siata.gov.co>.

Las autoridades nacionales de salud y medio ambiente han establecido unos Niveles de Alerta, los cuales se muestran para el material particulado fino PM_{2.5}

Tabla 1. Niveles de alerta para el PM_{2.5}

	Tiempo de Exposición	Nivel I		Nivel II	Nivel III	Nivel IV
		Bueno Verde	Aceptable Amarillo	Prevenición Naranja	Alerta Rojo	Emergencia Morado
PM _{2.5}	24 h	0-12	13-37	38-55	56-150	>151

Fuente: AMVA

El límite aceptable de calidad diario es de 37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Adicionalmente se cuenta con un límite aceptable de calidad anual, que es de 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. No se tienen límites para valores instantáneos u horarios. Tales concentraciones pueden ser mucho mayores, pero lo que se ha visto en los estudios de salud es que las concentraciones que mejor indican los impactos negativos son las que se relacionan con los límites anuales y diarios.

He han estudiado acá los datos de las estaciones desde enero de 2015 hasta agosto de 2019 y obtenido los valores promedio horario y diarios para distintas estaciones y para el promedio de todas ellas. Se presentan acá dos gráficas que permiten entender la evolución histórica.

En la primera se muestran los resultados de PM2.5 en las 8 estaciones de monitoreo que tienen registros durante todo esto cinco años, con un total por estación de unos 38000 datos horario. En la segunda se muestran los resultados para el promedio de todas las estaciones de la región, promedio cada hora y promedio cada día,

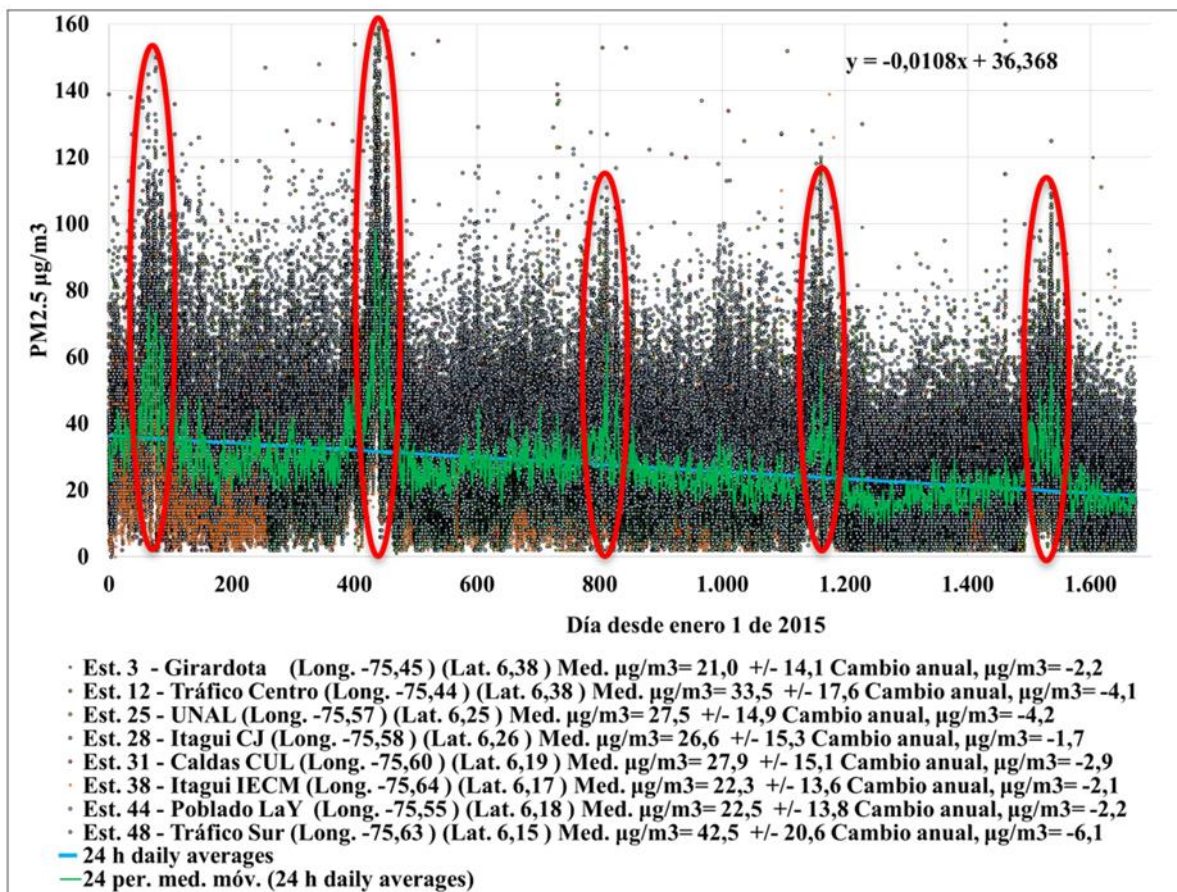


Figura 1. PM_{2.5} en 8 estaciones en el Valle de Aburrá. La línea verde representa la curva de ajuste para 24 horas acumuladas (promedio diario). La línea azul es el ajuste lineal de los datos de tales estaciones. En rojo se han encerrado los episodios de alta contaminación

Fuente: Elaboración propia

La figura 3 muestra la situación promedio para todas las estaciones. En ella se colocan los datos promedio horario y los datos promedio diario. Es de anotar que estos últimos, son los que deben mirar al comparar con las normas del país, como lo indica la figura 2

Contaminante	Tiempo de exposición	Prevención	Alerta	Emergencia*
PM ₁₀	24 horas	155 - 254	255 - 354	≥355
PM _{2.5} **	24 horas	38 - 55	56 - 150	≥151
O ₃	8 horas	139 - 167	168 - 207	≥208
SO ₂	1 hora	198 - 486	487 - 797	≥798
NO ₂	1 hora	190 - 677	678 - 1221	≥1222
CO	8 horas	10820 - 14254	14255 - 17688	≥17689

Figura 3. Niveles de alerta y parámetros usados para los distintos contaminantes

Fuente: Autoridad ambiental

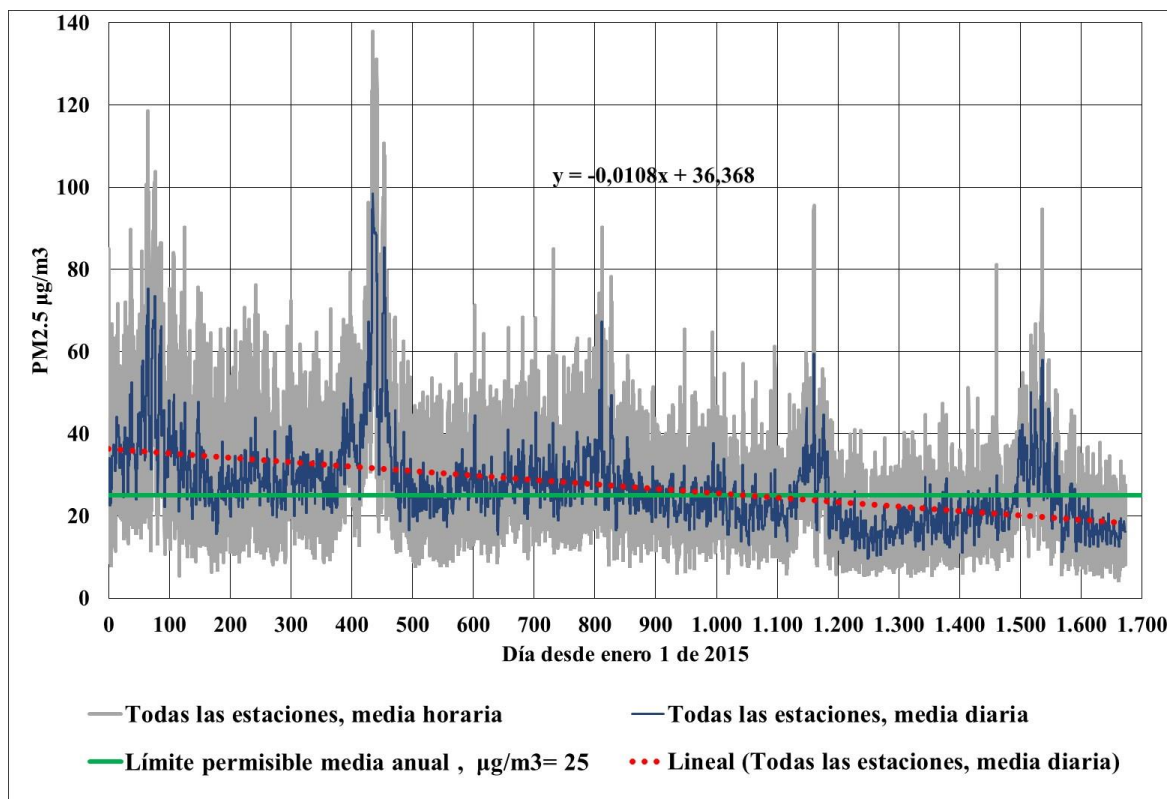


Figura 3 PM_{2.5} promedios horarios y diarios de las estaciones de monitoreo en el Valle de Aburrá. Se notan los picos de los episodios, que ocurren entre febrero a marzo. Se observa en el ajuste medio que la concentración (línea roja punteada) ha bajado de 36,5 a 20,2 microgramos/mt3 en estos cinco años (ya está por debajo del límite permisible anual), que es la línea verde horizontal

Fuente: Elaboración propia

Se observa que las concentraciones promedio diarias vienen rebajando continuamente, llegando a valores de calidad aceptable o buena (de menos de 25 microgramos por mt3 de aire). Se ha pasado de una situación promedio de 36,5 microgramos por m3 (ligeramente por debajo del nivel de alerta) a una situación promedio de 20 microgramos por m3 (dentro de

nivel aceptable). Esta rebaja es notable, de 16.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ desde enero de 2015, una rebaja de 3,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ por año, sobre todo si se considera que ha crecido en este tiempo, en forma muy significativa, la cantidad de motos y de vehículos. Solamente durante los cinco picos referidos se superan los niveles y se llega a las situaciones promedio diarias de prevención o de alerta. Esto es notable y muestra que la región ha venido enfrentando estos problemas del medio ambiente, tanto el sector público como el sector productivo.

Se ha demostrado por diversos medios: balances químicos del material particulado y de las fuentes, mediante modelos fuente-receptor; modelos de emisiones; análisis del comportamiento de los datos horarios, que los vehículos y el tráfico son las mayores fuentes de las emisiones urbanas [1]. La figura 4 muestra el comportamiento medio de los últimos cinco años para el promedio de todas las estaciones urbanas según la hora de las mediciones. Se nota claramente la existencia de picos diarios, que hay que asociar con el mayor fenómeno diurno, que es la movilidad vehicular y todo lo que ella implica (emisiones de gases por el exhosto, desgaste de llantas y de vías, entre otros). En la figura se comparan también las situaciones de los cinco episodios con las de la normalidad. Es evidente un comportamiento similar, con contaminación mucho mayor durante los picos.

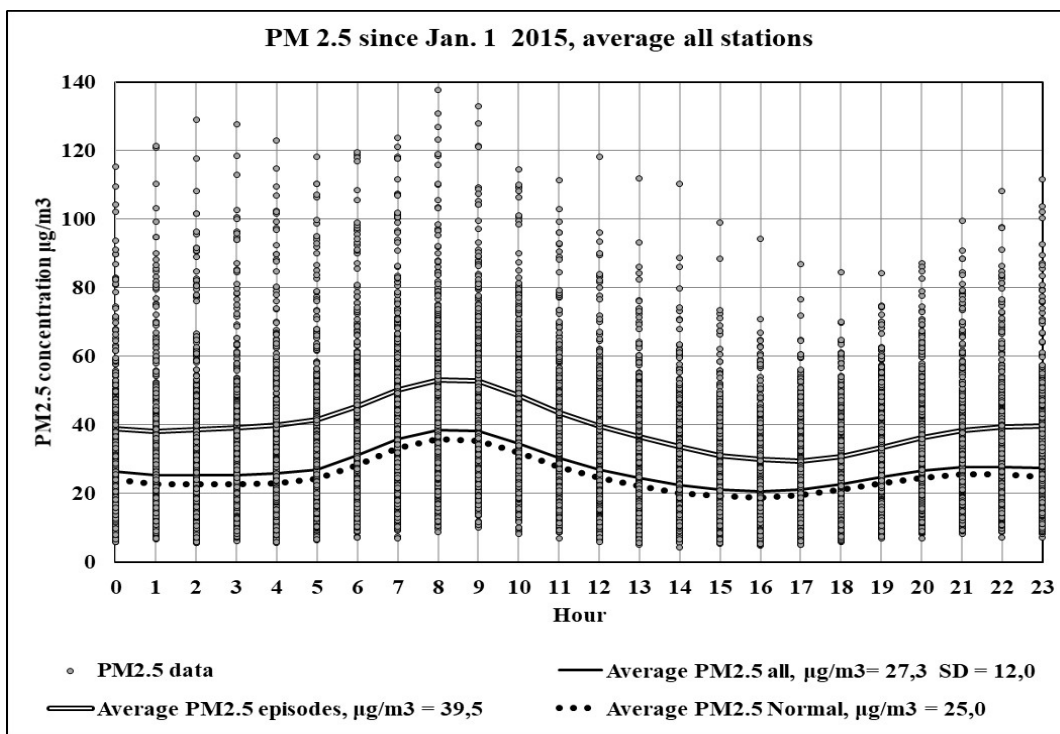


Figura 4 Comportamiento medio de los últimos cinco años para el promedio de todas las estaciones urbanas según la hora de las mediciones, para los datos medios, con y sin episodios y los obtenidos durante los episodios

Fuente: Elaboración propia

Las menores concentraciones en la tarde se pueden atribuir al efecto positivo de los aumentos de la radiación solar, la temperatura y del viento y a la disminución de la humedad relativa, que contribuyen a bajar la contaminación [2]

EL ORIGEN DE LOS EPISODIOS

Después de analizar los datos históricos (figuras 1 y 3) se puede concluir que los episodios se producen con absoluta regularidad, cada año. Igualmente se aprecia que fueron muy fuertes en 2015 y 2016, rebajando notablemente en los años 2017, 2018 y 2019. La tabla siguiente compara los promedios diarios, bajo episodios, en situación normal y para todo el año. Se aprecia cómo vienen disminuyendo las concentraciones. En 2019 solo se tenían los datos de los primeros 7 meses, que son los más críticos

Tabla 2. Promedios de PM2.5 normales, durante episodios y para todos los datos

Año	2015	2016	2017	2018	2019 (211 días)
Episodios	46,1	54,5	32,3	31,2	33,2
Normales	30,4	28,7	24,6	18,8	19,8
Todos	32,8	32,5	25,7	20,7	23,2

Fuente: Elaboración propia

Después de analizar los datos históricos se puede concluir que los episodios no se deben a causas relacionadas con las fuentes de emisiones locales, ya que la región no cambia sus patrones de funcionamiento en estas épocas. Es decir, no se tienen aumentos del tráfico entre finales de febrero y comienzos de abril. Tampoco se aumentan las producciones industriales o las actividades en estas épocas.

Se concluye también que la región viene experimentando significativas mejoras en la situación ambiental con rebajas de más del 40 %. Esto es muy importante, porque existe una contaminación de fondo que no depende de factores internos y que pone un límite a lo que se puede hacer localmente.

Se puede considerar que los episodios tienen dos orígenes: Uno debido a fenómenos climáticos locales o regionales que generan inversiones atmosféricas prolongadas, lo que provoca disminución persistente de la altura de mezcla atmosférica; esto aumenta las concentraciones a valores mucho más altos de lo normal [3]. Otro factor tiene que ver con factores externos, reflejados en aumentos significativos en la contaminación de fondo. El tema ambiental no es solamente regional. Hay importantes factores externos. Deben ser enfrentados con políticas nacionales y globales.

LAS SITUACIONES DE MARZO DE 2020

En esta época se ha presentaron los episodios regulares de cada año, ya descritos. Ante ello, las autoridades aplicaron las medidas de restricción del tráfico vehicular y de las actividades contaminantes establecidas en el plan de acción existente, que se denomina POECA, Plan Operativo con seis componentes de la siguiente manera:

- Monitoreo de variables meteorológicas y de calidad del aire.
- Aplicación de herramientas para pronosticar la calidad del aire y la meteorología y sus relaciones. Esto incluye el uso de modelos para realizar predicciones de episodios de contaminación: modelos fotoquímicos, meteorológicos y estadísticos y la aplicación de criterios expertos.
- Aplicación de medidas especiales durante los episodios de contaminación, con el objetivo de indicar pautas a la población para reducir la exposición a la alta contaminación y dar acciones obligatorias al responsable de las fuentes de emisión.
- Aplicación de un plan de comunicaciones, para informar a la comunidad de manera oportuna y efectiva y facilitar la receptividad y el cumplimiento de las medidas de restricción y
- Promover comportamientos destinados a reducir los niveles de exposición de la población sensible.
- Control y seguimiento centrados en la evaluación de la efectividad de las medidas.

Sin embargo, no se obtuvieron resultados tan buenos como los de 2017, 2018 y 2019, por lo cual se aplicaron los protocolos del POECA cada vez con mayor severidad. En apariencia sin resultados positivos, ya que empezaron a aparecer las estaciones en alerta naranja y aún en alerta roja.

Para complicar más las cosas, apareció la crisis del Covid-19, que sometió la región a una cuarentena bastante radical y a una suspensión de las actividades de tráfico y de producción, a partir del 20 de marzo. Pero no se mejoraron las cosas en apariencia con estas situaciones. Al contrario, aumentaron los niveles de alerta. Con ello, llovieron las críticas sobre las autoridades ambientales desde muchos sectores, inclusive, desde la administración municipal misma y se pusieron en duda los estudios y la efectividad del POECA.

HACIA UNA PERSPECTIVA DE LA SITUACIÓN

No se puede desconocer la historia, los progresos conseguidos ni poner en duda los estudios y la efectividad del POECA. La región ha establecido todo un conjunto sofisticado de mecanismos, operado por profesionales muy comprometidos y entrenados y apoyado por numerosas estaciones de muestreo y equipos para medir los comportamientos atmosféricos. Hay que apoyarlo y continuar fortaleciéndolo. Lo que hay que hacer es entender la situación. Para ello, nada mejor que los datos mismos.

En este sentido se ha considerado interesante recoger la información de marzo de 2020, como la reporta el SIATA para analizarla, en términos comparativos con los episodios de los años

anteriores. La tabla 3 examina los datos del episodio de marzo de 2020 en comparación con los de los episodios anteriores y la figura 5 los muestra comparativamente.

Tabla 3. Promedios de PM2.5 normales, durante episodios y para todos los datos, incluyendo a marzo de 2020

Año	2015	2016	2017	2018	2019 (211 días)	2020 (marzo)
Episodios	46,1	54,5	32,3	31,2	33,2	43,9
Normales	30,4	28,7	24,6	18,8	19,8	
Todos	32,8	32,5	25,7	20,7	23,2	

Fuente: Elaboración propia

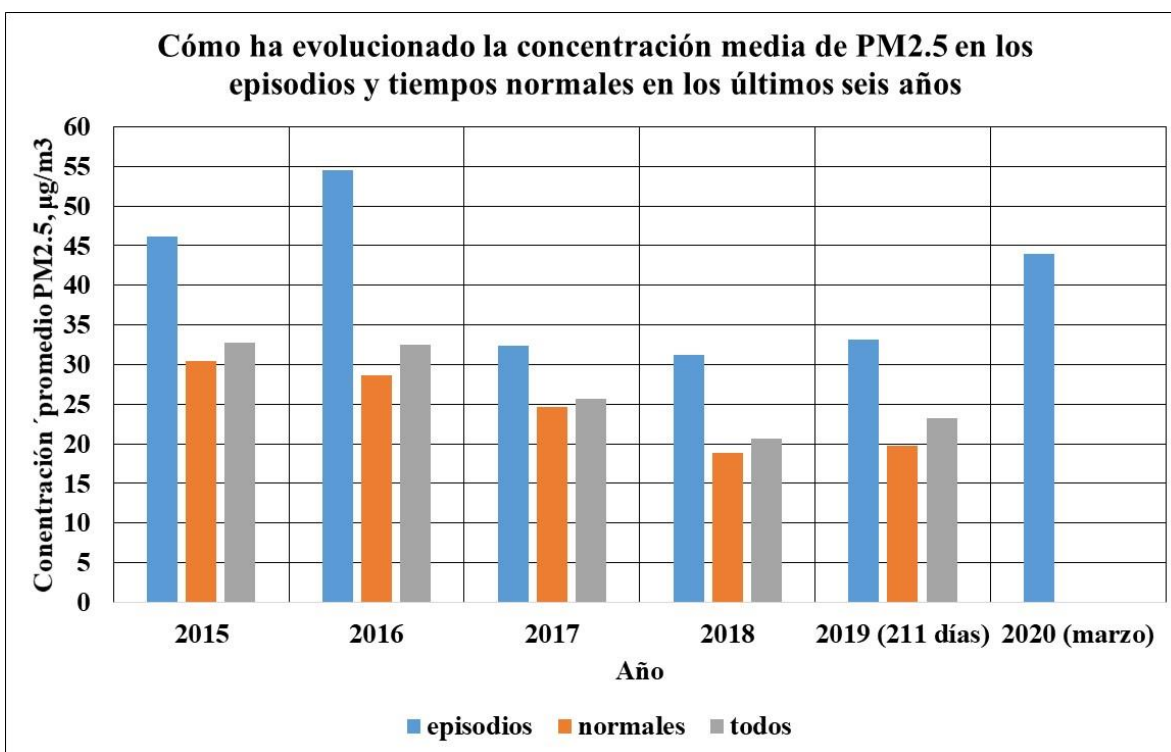
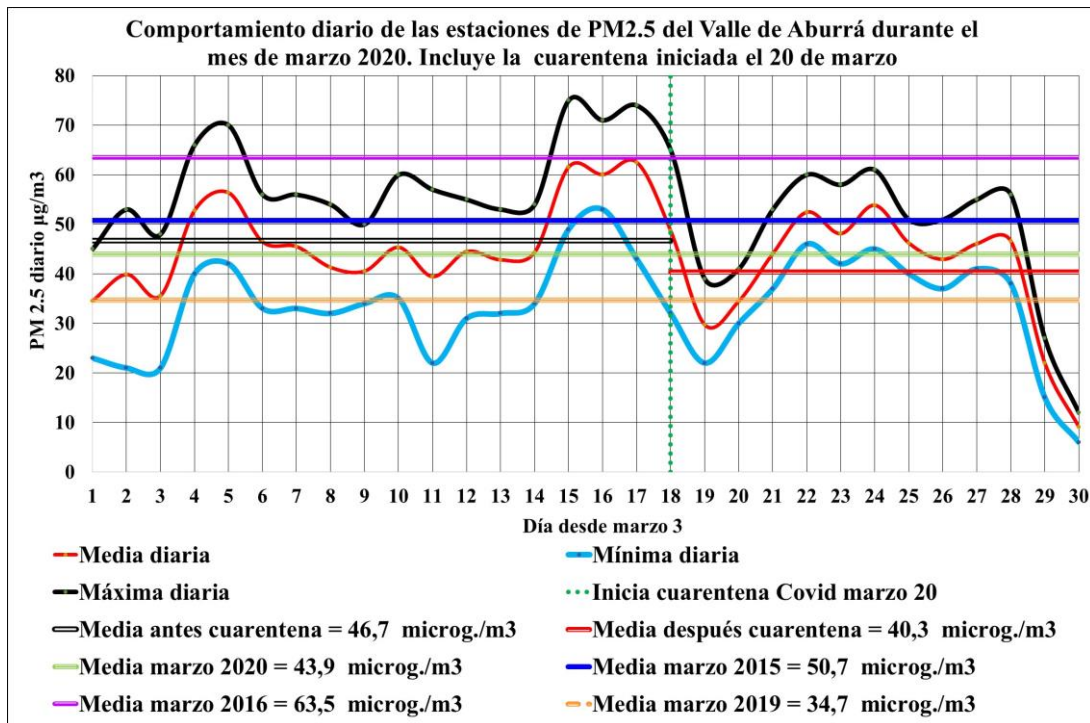
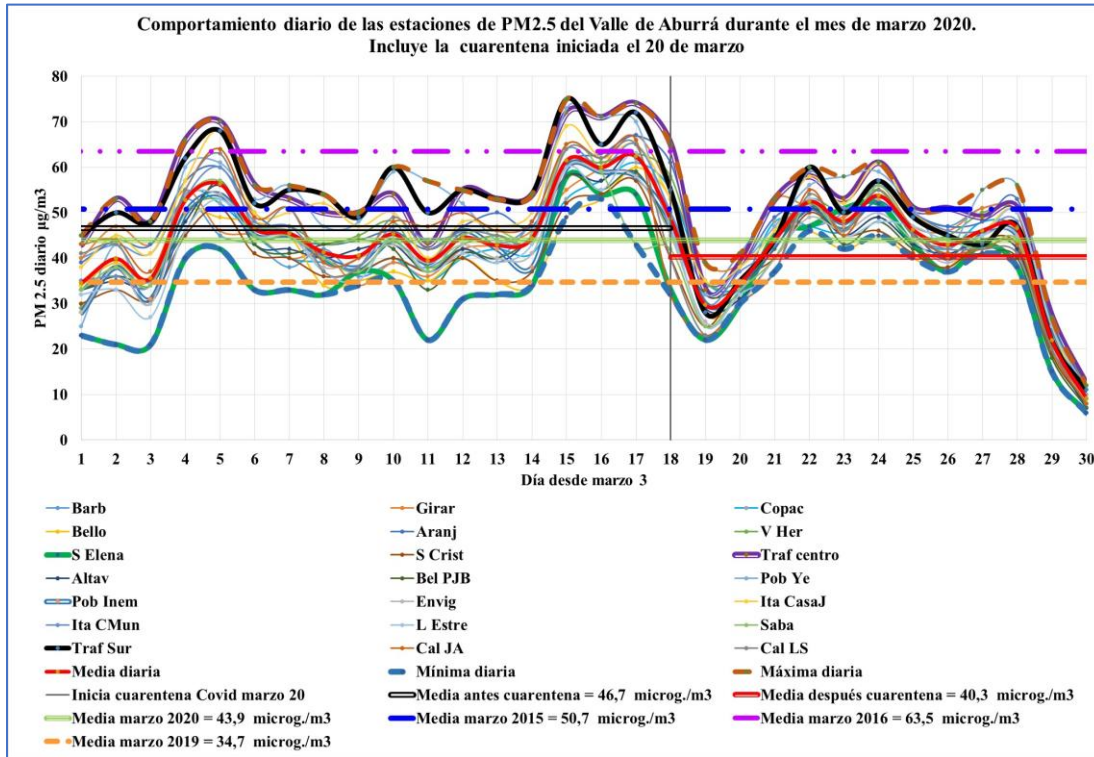


Figura 5 Comportamiento medio de los últimos cinco y marzo de 2020 años para el promedio de todas las estaciones urbanas para los datos medios, con y sin episodios y los obtenidos durante los episodios

Fuente: Elaboración propia

Es evidente que el episodio de marzo de 2020 ha sido muy severo, de una naturaleza semejante e inclusive más crítica que la sucedida en 2016. De no haberse aplicado las medidas y de no haber sucedido la cesación forzada de actividades impuesta por la cuarentena del Covid-19, la situación hubiera sido más crítica.

Para comprobar esto, se han preparado dos gráficos, figura 6, con todas las estaciones en el mes de marzo de 2020, día a día.



Figuras 6 Comportamiento medio de los últimos cinco años y marzo de 2020 años para las estaciones y para el promedio de las estaciones urbanas, con y sin episodios y los obtenidos durante los episodios

Fuente: Elaboración propia

En el primero están los datos diarios de todas ellas. En el segundo se han colocado solamente los datos medio, máximo y mínimos de las estaciones como un conjunto. Se han añadido los datos promedio de los episodios de 2015, 2016 y 2019 para tener perspectiva y poder extraer conclusiones razonables.

Se aprecia que todas las estaciones siguen patrones semejantes, incluyendo la de Santa Elena, que es rural. Todas suben y bajan al mismo tiempo. Ello indica que el episodio es generalizado en la región.

Se observa que la aplicación de la cuarentena bajó las concentraciones medias de 46,7 a 40,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, un cambio de 6,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, que debería ser equivalente al impacto que debería esperarse de la cesación de actividades asociada con la misma.

MODELO PROPUESTO

Con estas consideraciones, se presenta un modelo propio para entender las contribuciones a las concentraciones de PM_{2.5} en la zona del Valle de Aburrá, según se explica a continuación. Con el modelo se pretende responder no solamente a la pregunta ¿Qué ha pasado en marzo de 2020?, sino también intentar explicar qué es lo que ha pasado en los años anteriores, tanto durante los episodios como en épocas normales.

Situación analizada	Explicación
Aporte del tráfico y emisiones asociadas (75 % de aportes propios de la región)	Se estiman los aportes de los vehículos y del tráfico, que incluyen desgastes de llantas, de vías y emisiones fugitivas. Se estima como base de partida que son un 75 % de las emisiones propias de la región
Aporte fuentes fijas y asociadas (10 % de los aportes propios)	Se estiman los aportes de las fuentes fijas, en general de tipos industriales y empresariales. Se estima como base de partida que son un 10 % de las emisiones propias de la región
Aporte de las reacciones secundarias atmosféricas (Se toman como un 12 % de las de tráfico y fijas)	Se estiman los aportes de las reacciones secundarias originadas en las fuentes fijas y los vehículos. Se estima como base de partida que son un 12 % de las emisiones sumadas de fuentes fijas y tráfico
Aporte de fuentes difusas (naturales, re-suspensiones, otras, se completa con ellas el 100 % del aporte propio)	Se estiman los aportes de las fuentes difusas variadas (naturales, re-suspensiones de polvo grueso que se vuelve fino y otras. Se estima como base de partida que con ellas se completa el 100 % de las emisiones propias. Una vez estimadas en la base inicial se las deja constantes en el modelo desarrollado
Total, que es atribuible a fuentes propias	Es la suma de los anteriores aportes. Sobre este total se pueden ejercer acciones de control, especialmente con los dos primeros.

Situación analizada	Explicación
Contaminación de fondo estimada (viene de causas externas al Valle de Aburrá)	Es el aporte a las concentraciones en la zona atribuible a fuentes externas, ya que el aire que ingresa a la región contiene contaminación, buena parte de ella de naturaleza global y otra más regional, especialmente durante los episodios. Recientemente se ha reconocido que los incendios y las labores agrícolas contribuyen a esta contaminación de fondo [4]
Total, sin considerar el impacto de las inversiones térmicas	Se suma el aporte a la concentración de la contaminación de fondo, al aporte de fuentes propias y se calcula su porcentaje de contribución
Factor multiplicador originado por las inversiones	Las inversiones térmicas disminuyen la altura de la atmósfera local disponible para dispersar la contaminación y eso genera un aumento de las concentraciones para las mismas emisiones
Total, estimado con impacto de inversiones	Las concentraciones estimadas se multiplican por este factor. El resultado debe acercarse razonablemente a los valores reportados

Situación analizada	Episodios severos (2015-16)	Episodios moderados (2017-19)	Episodio de 2020 antes de la cuarentena	Episodio 2020 después de la cuarentena	Situación normal (2015-2016)	Situación normal (2017-2019)
Aporte de tráfico y asociadas (75 % de aportes propios) (a)	14,29	8,17	7,31	3,58	14,29	8,60
Aporte fuentes fijas y asociadas (10 % de aportes propios) (b)	1,90	1,09	0,97	0,48	1,91	1,15
Aporte de reacciones secundarias atmosféricas (12 % de tráfico y fijas) (c)	1,94	1,11	0,99	0,49	1,94	1,17
Aporte fuentes difusas (naturales, re-suspensiones, otras, se completa 100 % del aporte propio) (d)	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91
total, (a)+(b)+(c)+(d) fuentes propias (e)	19,05	11,28	10,19	5,46	19,05	11,83

Situación analizada	Episodios severos (2015-16)	Episodios moderados (2017-19)	Episodio de 2020 antes de la cuarentena	Episodio 2020 después de la cuarentena	Situación normal (2015-2016)	Situación normal (2017-2019)
Aporte propio episodio severo 2015-16, (g)	19,05					
Cambio con respecto a 2015-16, (e)-(g) = (f)		7,77	8,86	13,59		7,22
Disminución por control, % con respecto a 2015-16, para las fuentes propias, (f)/(g)*100=(h)		40,8	46,5	71,3		37,9
Contaminación de fondo estimada (causas externas al valle de Aburrá) (i)	17,50	12,50	24,00	24,00	10,50	10,50
Total, sin considerar el impacto de las inversiones térmicas (i)+(e) = (j)	36,55	23,78	34,19	29,46	29,55	22,33
Aporte contaminación de fondo, %, (i)/(j)*100 = (k)	47,88	52,56	70,19	81,46	35,53	47,03
Factor multiplicador por inversiones (l)	1,37	1,37	1,37	1,37	1,0	1,0
Cambio atribuible a cesación de actividades en cuarentena después de impacto inversiones				6,47		
Total, estimado por el modelo con impacto de inversiones (j)*(l)	50,0	32,5	46,8	40,3	29,5	22,3
Valores promedio reportados	50,0	32,0	46,7	40,3	29,6	22,2

CONCLUSIONES

Ha faltado tener en cuenta la contaminación de fondo al analizar la problemática. De esto el autor ha venido hablando desde hace años, proponiendo que se coloquen estaciones de medición en zonas rurales alrededor del Valle de Aburrá para tener bien claros estos aportes. Se observa que dicha contaminación de fondo puede oscilar entre un 35 % y un 80 % de las concentraciones existentes en el Valle de Aburrá, y aportar entre 10 y 24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a las concentraciones totales, dependiendo de que haya o no episodios y del tipo de episodios.

Con tan importantes contribuciones externas, se aprecia la importancia de mirar estos fenómenos a escala nacional y global, si es que se quieren llevar las concentraciones a valores por debajo de los 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ que menciona la OMS, asunto que será bien complejo a plazo medio, y que es imposible en la actualidad para los promedios anuales en la zona urbana.

Otro importante aspecto es el del impacto de las inversiones térmicas o fenómenos atmosféricos semejantes, que hacen que disminuya la altura de mezcla de la atmósfera local disponible para dispersar la contaminación y que parecen ocurrir durante los episodios de forma sostenida por más de un mes. Estas inversiones generan un aumento de las concentraciones, para las mismas emisiones existentes. Entonces, aumenta la concentración no porque las fuentes estén contaminando más, sino porque el volumen de aire atmosférico disponible para dispersarlo es menor.

Las estimaciones muestran que, en promedio, este factor es de 1,37, es decir, se aumentan las concentraciones en un 37 % por este efecto.

Otro importante resultado es el importante efecto positivo que han tenido las medidas emprendidas por la región, que se resumen más adelante, las cuales han sido la causa de la disminución objetiva de las emisiones y de las concentraciones resultantes. Según las presentes estimaciones tales disminuciones (de concentraciones atribuibles, naturalmente a fuentes propias), comparando con las situaciones existentes en 2015-16, han sido del 40,8 % para las situaciones de episodios, del 37,9 % para las situaciones normales. De la misma manera se ha visto una disminución del 71,3 % para las situaciones del episodio de 2020 después de la cuarentena, importante anotación que debe aportar perspectiva.

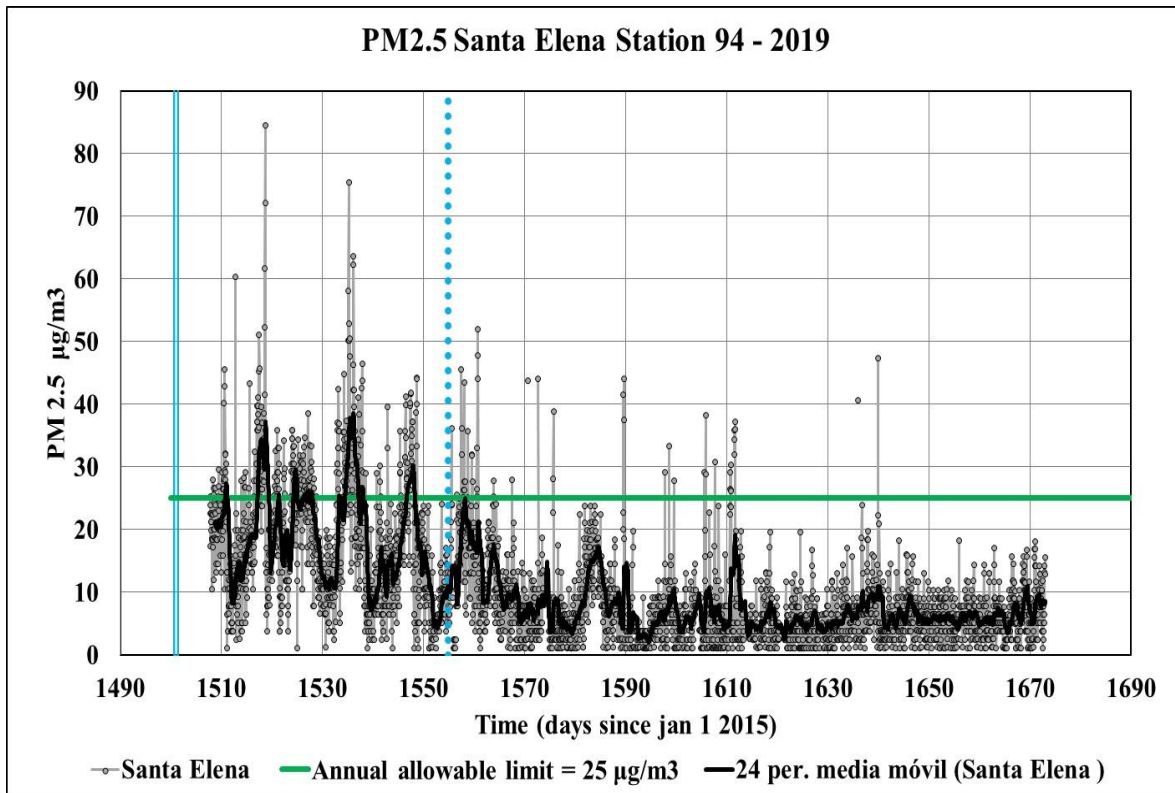
Naturalmente tales impresionantes cambios no son los que se observan mirando las concentraciones totales, ya que estas incluyen el efecto de las fuentes externas (contaminación de fondo) y de las inversiones, como se ha explicado. Por ello las personas se desconciertan y llueven las críticas, e inclusive el menosprecio, sobre las autoridades ambientales desde muchos sectores. Ojalá contribuya este trabajo a dar lugar a una impresión más objetiva.

ANOTACIONES ADICIONALES SOBRE LA CONTAMINACIÓN DE FONDO

Afortunadamente, se cuenta en la región con la estación de Santa Elena, cuyos datos facilitan entender el tema de la contaminación de fondo, tanto durante los episodios (se han tomado datos del año 2019 ya que esta estación se empezó a utilizar desde este año.

Se observa que también se presentan picos por el episodio de los meses de febrero, marzo y abril. Ello ayuda a comprender que la contaminación de fondo no es generada por la zona urbana.

La zona de Santa Helena, es bastante menos contaminada que la zona urbana. Se observa que dicha contaminación de fondo aumenta también en los episodios y se puede llegar también a altos niveles. De ninguna manera sería razonable atribuir estos aumentos al impacto de la zona urbana.



Figuras 7 PM_{2.5} en Santa Elena (zona rural del Valle de Aburrá, al oriente) durante 2019. Se aprecia claramente el impacto del episodio de febrero a marzo (entre las líneas verticales azules)

Fuente: Elaboración propia

Para explicar todavía más estos asuntos de la contaminación de fondo, ella debería comportarse en tal forma que no se apreciaran claramente las variaciones horarias que ocurren en las zonas urbanas, en las cuales, especialmente por el impacto del tráfico, se generan ciclos muy claros.

La figura 8, al comparar con la figura 4, muestra que tales ciclos para las estaciones promedio de la zona urbana no se dan Santa Elena. Ello ocurre porque no es tan significativo en esta zona, básicamente rural, el impacto del tráfico vehicular.

Lo que sí se aprecia en ambos casos, es el impacto de los episodios, indicando que tienen mucho que ver con impactos externos y que también hay inversiones en Santa Elena

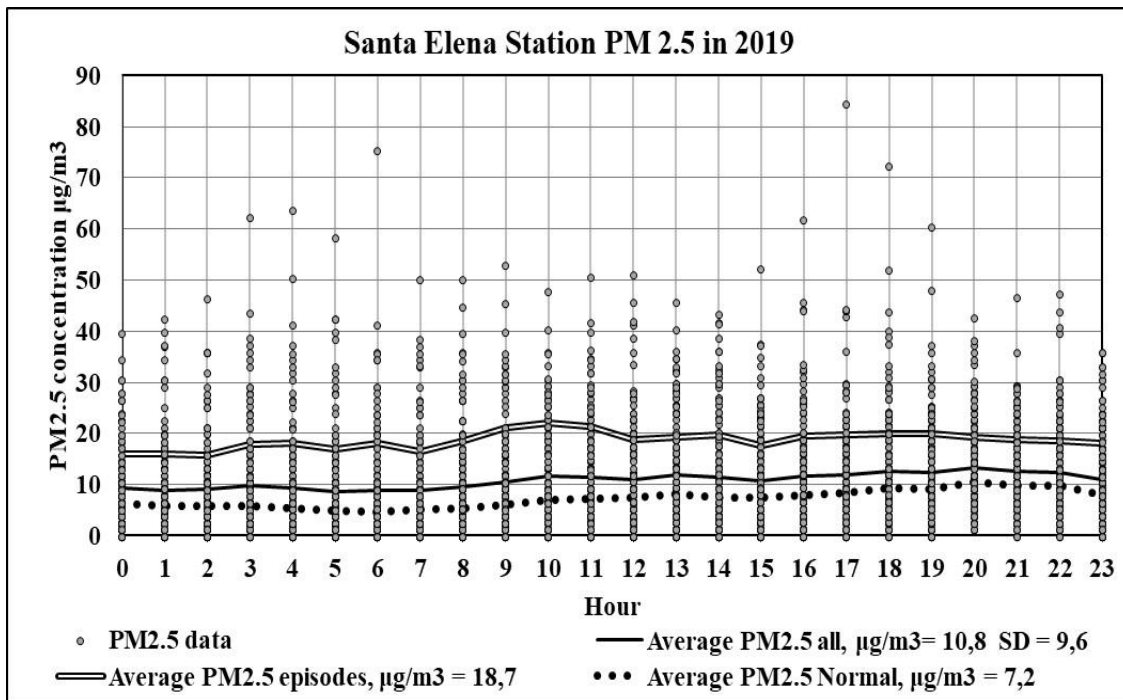


Figura 8 Comportamiento del PM_{2.5} en Santa Elena (zona rural del Valle de Aburrá, al oriente) durante 2019 durante las horas del día. Como se ve en la figura, las variaciones cíclicas diarias no están presentes, como es el caso en el área urbana (figura 4), dado que el efecto del tráfico vehicular no es tan significativo en Santa Elena. Esta zona tiene una carga de tráfico muy pequeña. Pero igualmente muestra altas concentraciones en el episodio de febrero a marzo

Fuente: Elaboración propia

Se presentan diversas mediciones en varios estudios en el pasado en zonas rurales durante períodos normales en la tabla 4. Según esta tabla la contaminación de fondo en tales períodos estaría alrededor de 9,7 µg/m³ +/- 4,1

Tabla 4 Concentraciones de fondo en épocas normales en Muestréos en zonas no urbanas cercanas al Valle de Aburrá (elaboración propia)

Número de muestras		24
Sitios estudiados		3
Concentración media	µg/m ³	9,7 +/- 4,1
Máxima concentración	µg/m ³	17,2
Mínima concentración	µg/m ³	3,2
Períodos de muestreo		Mayo 2010 a junio de 2015
Meses		Enero, junio, octubre

Tabla 5 Comportamiento comparativo de los promedios para Santa Elena (zona rural del Valle de Aburrá, al oriente) y zonas urbanas durante 2019 (elaboración propia).

Zona	Unidades	Media todos	Media Normal	Media en Episodios	Relación Episodios a normal
Santa Elena, área rural	µg/m ³	10,8	7,2	18,7	2,59
Promedio de zonas urbanas (2019)	µg/m ³	23,2	19,8	33,2	1,68
Relación urbana a rural	Veces	2,15	2,74	1,78	

Parece que Santa Elena, que representa áreas rurales, en términos relativos, está más afectada por los episodios que las áreas urbanas. Esto podría estar relacionado con el hecho de que los esfuerzos de mitigación realizados por las autoridades y la comunidad no se aplican a las zonas rurales. Se observa que esta contaminación de fondo también aumenta en los episodios y también se pueden alcanzar niveles altos. Como se ha señalado ya, de ninguna manera sería razonable atribuir estos aumentos al impacto del área urbana.

TAREAS BIEN HECHAS

Puede concluirse que la región del Valle de Aburrá está haciendo la tarea bien hecha, a base de las siguientes acciones realizadas, a las cuales hay que dar continuidad:

- Mayor énfasis en sistemas de transporte público eléctrico y grandes inversiones en estos sistemas
- Cambio y modernización de los buses de transporte público manejado por los privados
- Modernización de buena parte de la flota de camiones y volquetas
- Mejoras en el combustible
- Utilización creciente de aditivos como es el caso del catalizador Green plus
- Mejores prácticas de conducción, facilitadas por el sistema de fotomultas, el uso del waze, los controles de emisiones y las acciones culturales. El impacto de las buenas prácticas y de la mayor fluidez es muy significativo, mucho más de lo que la gente puede pensar, ya que los trancones y las malas prácticas pueden dar lugar a duplicar las emisiones de los vehículos.
- Las acciones para generar conciencia de parte de las autoridades y muchas entidades y personas.
- Vehículos nuevos de mayor eficiencia y menores emisiones.
- Continuas y verificables acciones empresariales en busca de control cada vez más exigente de sus emisiones y procesos.
- Desarrollo de corredores verdes y de siembras masivas de árboles.
- Mejoras importantes en las vías para bicicletas y para los peatones.

Para entender lo importante que son las buenas prácticas de movilidad urbana y la fluidez del tráfico, vale la pena compartir el resultado de un estudio anterior que ha permitido medir

emisiones en condiciones irregulares del vehículo (paros) y normales (a velocidad de marcha) [5].

Tabla 6 Impacto de las buenas prácticas de conducción y de la fluidez del tráfico en la ciudad de Medellín (elaboración propia)

Factor de impacto	Alto (prácticas muy pobres)	Medio (prácticas pobres)	Bajo (Buenas prácticas)
Influencia, % de emisiones bajo conducción detenidas y malas prácticas	60	30	0
Relación de factores de emisión detenido a marcha	1,5	1,2	1,0
Factor de emisión medio diésel, mg/g fuel	4,21	3,52	2,82
Factor de emisión medio gasolina, mg/g fuel	0,95	0,79	0,64
Emisiones esperadas diésel, ton/día	2,80	2,34	1,88
Emisiones esperadas gasolina, ton/día	1,55	1,30	1,04
Emisiones esperadas totales, ton/día	4,36	3,64	2,92
Aumento de emisiones por prácticas pobres, %	49,3	24,6	0,0

REFERENCIAS

[1] Gómez, M y otros Chemical composition of PM2.5 in three zones of the Aburrá Valley, Medellin, Colombia. Conference paper presented a AWMA - # 2011-A-702-AWMA

[2] Posada E, et al. Relations between Atmospheric Pollution and Climate for the Aburrá Valley in Colombia. Ijsrm.Human, 2020; Vol. 15 (2): 49-97.

[3], Posada E., La situación de contaminación de la atmósfera del Valle de Aburrá. Algunas propuestas. Documento SAI, abril 2017

[4] Gómez, D. Contingencia Ambiental Causas y Soluciones Parte 2 – Presentación Martes SAI, marzo 24 2020

[5] Posada, E. Retos de la ingeniería para la movilidad sostenible, Presentado en la Semana de la Movilidad Sostenible Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia, Octubre 2019

MODELACIÓN DE LAS REGIONES Y EL PAÍS. ESCENARIOS, SIMULACIONES Y RESULTADOS

Diego, Gómez¹; René Yepes²; Luciano Gallón³; Farikc Palacios⁴

¹Director ECSIM, PhD, MSc, Universidad Nacional de Colombia, Medellín.

² Director de Innovación ECSIM, PhD(c), MSc, Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, Colombia

³ Profesor UPB, PhD, Mg. Ing., Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, Colombia

⁴ Investigador ECSIM, B.S., Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia

Resumen: El desarrollo económico implica múltiples retos en términos del análisis estructural de una sociedad. La simulación de las economías, de los impactos ambientales, de las decisiones de los agentes y de los procesos de aprendizaje son claves para la formulación y el acompañamiento en la implementación de las políticas públicas. El artículo describe varias aplicaciones desarrolladas para estos efectos. Se presenta un modelo de desarrollo económico regional que ha sido usado en Antioquia en los pasados 20 años para el diseño de las estrategias de competitividad, innovación e inclusión social. Se presenta un modelo de análisis de impactos ambientales utilizado en Bogotá y Medellín. Se presentan dos modelos, uno de simulación dinámica y otro de agentes dirigidos a hacer pedagogía del desarrollo regenerativo. Cada uno de ellos tiene un link a un ejecutable que permita al lector correr el simulador.

Palabras clave: Desarrollo, Economía, Simulación, Regeneración, Sostenibilidad, Desarrollo Regenerativo.

1. INTRODUCCIÓN

A comienzos de la década de 2000 Antioquia y Medellín se encontraban en una situación compleja. La crisis económica del ciclo de la construcción del año 1999 había afectado severamente la economía, el desempleo era superior al 21%, la inversión había caído al 12% y la ciudad y el departamento enfrentaban una situación de violencia e inseguridad con retenes, secuestros y con índices de muertes por cien mil habitantes en cifras cercanas a los 400.

La ciudad, luego de una primera mitad de siglo veinte profundamente transformadora en términos de innovación, emprendimiento y construcción de capital social, había entrado en un aletargamiento desde la década de los años 60 en términos de reducción de los niveles de creación de empresas, deterioro de los índices de empleo y posteriormente en engreimiento de estructuras de crimen y de subversión que tenían la sociedad en jaque.

En ese momento, a finales de los noventa, surge un ejercicio colectivo llamado Visión Antioquia Siglo XXI el cual derivó en una estructura de gestión estratégica que se denominó PLANEA, Plan Estratégico de Antioquia. La Cámara de Comercio de Medellín para Antioquia asumió el liderazgo de la “Línea 4”, la revitalización de la economía. ECSIM viene acompañando a la Cámara desde 2001 en la simulación de la economía antioqueña. Se

han realizado progresivamente nuevas generaciones de modelos que permitan avanzar en las discusiones y diseños de políticas. Las últimas tres generaciones han tenido estos alcances: en 2019 se simuló la política de desarrollo económico de Medellín al 2035 y se simuló la estrategia de innovación de Ruta N. En 2021 se realizaron las simulaciones de los impactos de los 5 ejes viales de la estrategia de competitividad. En 2022 se simuló los impactos ambientales dentro de dinámicas de metabolismo urbano y de manera específica se estudió la calidad del aire para Medellín.

2. METODOLOGÍA

2.1. Simulación Dinámica

La simulación es un área con un desarrollo importante en ingeniería, lo que no ocurre en otras áreas del conocimiento como la economía. Este artículo busca presentar cómo desde la ingeniería se han propuesto esquemas de modelamiento que han aportado al diseño de políticas de desarrollo. Específicamente se mostrarán las aplicaciones desarrolladas para el departamento de Antioquia y sus propuestas de desarrollo desde 2002 hasta la fecha.

Con ya más de 60 años de desarrollo conceptual, teórico y práctico (Forrester, 1989; Forrester, 2007a; Forrester, 2007b), la *System Dynamics* (SD)² es uno de los paradigmas de simulación con computador consolidados como metodología para modelar la realidad y capturarla como sistema complejo adaptativo de manera que se puedan poner a prueba los modelos mentales de las personas que tienen que diseñar escenarios, proponer políticas de desarrollo o tomar decisiones para afrontar problemas complejos (Gallón, 2019b).

En particular, es una estrategia muy poderosa para descubrir comportamientos contraintuitivos en las dinámicas de un sistema (Forrester, 1971a), de manera que se puedan proyectar mejores escenarios, evitar políticas que determinen soluciones cortoplacistas que, finalmente, agrandan los problemas a mediano o largo plazo, o para tomar decisiones que maximicen la agregación de valor.

Sus orígenes están en la ingeniería aplicada a problemas de administración, particularmente asuntos relacionados en el manejo de inventarios en la industria norteamericana (Forrester, 1971b), y se ha expandido a todos los campos del conocimiento científico en prácticamente todos los países del mundo (Gallón, 2012; Bedoya & Gallón, 2016; Bedoya & Gallón, 2018; Gallón, 2019a). Cabe resaltar el modelo del mundo (Meadows et al, 1972), que proyectó, en los inicios de los años 1970, escenarios para las dinámicas del planeta tierra hasta el año 2100, y que es el modelo de computación más estudiado, criticado, validado y seguido en los últimos 50 años.

² Normalmente mal traducida al español como *Dinámica de Sistemas*, ya que una traducción correcta es *Dinámicas de Sistema*, respetando el singular y el plural de los términos originales del inglés.

2.2. Modelamiento basado en Agentes

Una alternativa para el estudio de sistemas con herramientas computacionales corresponde al modelamiento basado en agentes (MBA). Este enfoque fue desarrollado “al calor del desarrollo de las ciencias de los sistemas complejos” (Rodríguez, 2015), buscando aportar herramientas capaces de apoyar representar fenómenos complejos y simular su evolución en el tiempo. Al optar por MBA, se cuenta con herramientas adecuadas para tratar algunas características distintivas de los sistemas complejos, como: comportamientos adaptativos y no lineales, así como fenómenos de emergencia y auto-organización entre los agentes que conforman el sistema. En un sistema bajo MBA también es relevante la heterogeneidad de los agentes, es decir, el comportamiento agregado del sistema emerge en virtud de las características individuales de cada agente, ofreciendo un nivel de detalle mayor que el obtenido al recurrir a “agentes representativos”, o a usar representaciones agregadas, como es el caso de la dinámica de sistemas. También es útil el MBA cuando el comportamiento varía de acuerdo con las interacciones posibles entre agentes, e incluso con la relación entre cada agente y las condiciones específicas de su ubicación (en un espacio o en una red).

Al aplicar MBA, se obtiene un sistema o sociedad “artificial”, integrada por un conjunto de agentes que son autónomos y heterogéneos entre sí, y que interactúan entre ellos y con el entorno, de acuerdo con reglas establecidas, y que pueden dar lugar a decisiones e interacciones no triviales (Rodríguez, 2015). Esto permite desarrollar “experimentos computacionales” sobre dicho sistema artificial, propicios para interpretar comportamientos que no son susceptibles de experimentar en el sistema real que dio lugar al modelo. Al usar MBA, también se obtiene una visión del vínculo entre el ámbito micro (el comportamiento e interacciones de los agentes) y el macro (el comportamiento agregado de todos los agentes).

Es posible encontrar múltiples aplicaciones de los modelos de agentes para el análisis de fenómenos asociados al desarrollo económico, como: fluctuaciones en el PIB durante ciclos económicos (Chu et al., 2018), creación de moneda y crédito (Xiong et al., 2017); distribución de la riqueza (Yahyaoui & Tkiouat, 2018); migración de personas (Silveira et al., 2005; Naugle et al., 2019); evolución de estructuras espaciales urbanas (Acheampong & Asabere, 2021; Stricker & Baruffini, 2017); gestión de infraestructura y servicios públicos (Bernhardt & McNeil, 2008; Huber et al., 2019); recaudo de impuestos (Llacer et al., 2013), efectos de la política tributaria sobre un sector (Gazda et al., 2017) y adaptación de los agentes a dichos cambios de política (Zheng et al., 2022), efectos de políticas anti-monopolio (Eftonova et al., 2017), interacción entre empleo, producción y consumo (Lavicka et al., 2010), transmisión de enfermedades y su efecto socio-económico regional (Snellman et al., 2022; Rizzi et al., 2018). También se ha aplicado MBA para estudiar interacciones de agentes que inciden en el cambio climático (Siebers et al., 2018).

2.3. Desarrollo Económico y Desarrollo Regenerativo

Se entiende Desarrollo Regenerativo como: “Un sistema de tecnologías y estrategias de desarrollo que funciona para mejorar la capacidad de los seres vivos para coevolucionar, para que el planeta continúe expresando su potencial para la diversidad, la complejidad y la creatividad a través de la armonización de las actividades humanas con la continua evolución de la vida en nuestro planeta, incluso mientras continuamos desarrollando nuestro potencial

como humanos El desarrollo regenerativo proporciona el marco y construye la capacidad local necesarios para garantizar que los procesos de diseño regenerativo logren el máximo aprovechamiento sistémico y apoyo a través del tiempo”. (Mang y Reed 2017)

Como señalamos en un artículo previo (Álvarez et al 2020.), esta postura se presenta en el ámbito del Desarrollo Sostenible y, más recientemente, en el Desarrollo Regenerativo propiamente dicho (Gibbons, 2020). Plantea que a partir del concepto de Desarrollo Sostenible tradicional (antropocéntrico, centrado en la mitigación del daño y la búsqueda de la eficiencia) se ha pasado al paradigma del Desarrollo Sostenible contemporáneo (que busca la justicia social, la viabilidad de los ecosistemas y el manejo de sistemas adaptativos complejos) y recientemente al Desarrollo Regenerativo (Visión holística del mundo, co-creación, integración interna y externa) (Álvarez et al 2020.)

La transición a economías regenerativas dependerá en gran medida de nuestra capacidad humana emprendedora e innata para innovar, con transición a infraestructuras inteligentes, inversión en nuevas tecnologías y sistemas con energías renovables (Fullerton, 2015). Por lo tanto, desde la óptica del desarrollo regenerativo existe un gran potencial en pro de los nuevos emprendimientos basados en alta tecnología e innovación, que conlleven un impacto positivo en la sociedad (en sus diferentes dimensiones), asegurando mejores niveles de sostenibilidad a futuro, respetando la singularidad de los lugares y conformando individuos y comunidades resilientes, puesto que uno de los principios fundamentales del desarrollo regenerativo es la reconexión de las personas con los espacios singulares en los que viven, dando así lugar a la necesaria conciencia de que se comparte un significado, una atención y una administración (Cole, 2017) (Reed, 2017)

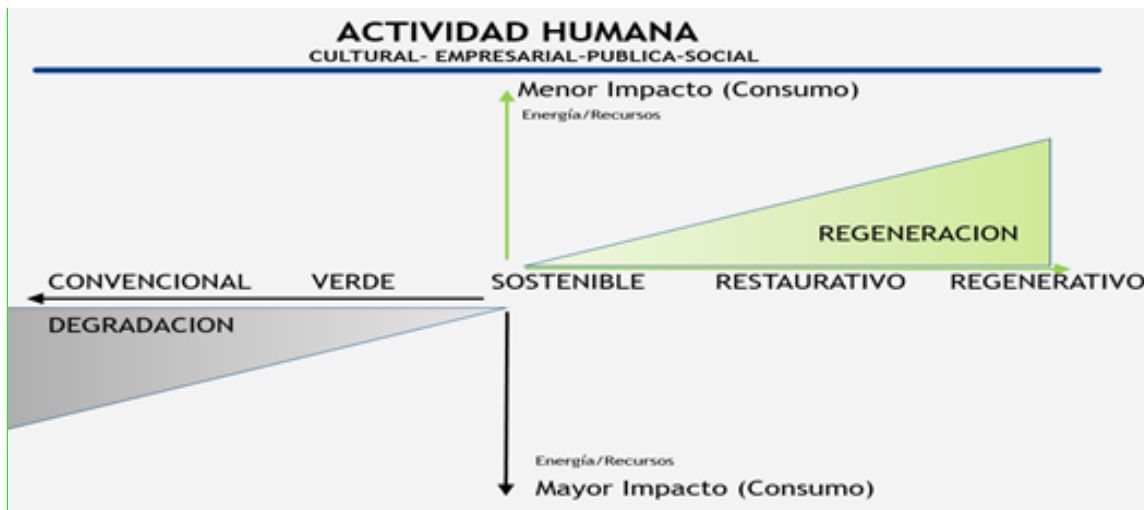


Figura 1.Desarrollo Regenerativo

Fuente: Adaptado de “Trajectory of Ecological Design”, Bill Reed

3. MODELOS

3.1. Modelo de Desarrollo Económico de Colombia y Antioquia

Este modelo tuvo su primera versión entre 2001 y 2007 en la que se simularon las 9 regiones de Antioquia con sus potenciales de productos agrícolas y actividades económicas. El marco de análisis era el de la superación de los 9000 dólares de ingreso y el logro del 0,3 de Gini. Dos limitantes críticas se evidenciaban en el estudio, la carencia de una red vial moderna y las graves restricciones de energía en los municipios, tanto por el diferencial de costo como por las capacidades técnicas.

Ambas restricciones han tenido su curso de gestión. De una parte, hoy ya son una realidad las vías 4G con una inversión cercana a los 20 billones de pesos, 10 años de gestión por parte de los líderes regionales y 8 años de ejecución. La restricción de energía se solucionó con la unificación de tarifas en el departamento luego de la absorción de EADE por parte de EPM y por los proyectos de electrificación de esta misma entidad.

La siguiente versión acompañó el ejercicio de visión al 2032 que se realizó con el plan de competitividad de 2011. Las grandes fuerzas impulsoras encontradas en el estudio fueron la internacionalización de la economía y la sofisticación de las ramas de actividad económica. La visión planteada en el ejercicio fue: “Antioquia será la economía líder de una región de Latino América de 200 millones de habitantes en donde operarán múltiples compañías multilatinas que tendrán sus centros de gestión en Medellín”.

En 2018 se realizó una nueva versión que recogiera de una parte la Política de Desarrollo Económico de Medellín y las estrategias de innovación de Ruta N. En 2021 se llevó a cabo la versión actual con la Cámara de Comercio de Medellín para Antioquia, el proyecto tenía como objeto realizar la “Estructura de Ejes de Desarrollo Información socioeconómica, población y producto”.

El propósito fue analizar el impacto de las 4G con la composición de los ejes estructurantes. El departamento de Antioquia se compone de un total de 125 municipios, los cuales, y para propósitos de este estudio, se agruparon en cinco ejes: Cauca; Magdalena Medio; Suroeste Urabá Pacífico; Urabá y Occidente; y Centro. El modelo consolidó esta estructura y generó la simulación de escenarios de transformación socioeconómica de cada una de estas regiones.

El Modelo General de la Economía recoge de forma agregada las dinámicas de la economía, y permite generar simulaciones de su comportamiento futuro. El modelo se encuentra construido por módulos, lo que facilita el entendimiento de procesos y su posterior modelación.

El primer módulo que lo conforma es el módulo de Producto, Consumo, Inversión y Empleo, en el cual se presentan las relaciones existentes entre las variables que conforman el sistema productivo, entre las que se encuentran la Demanda, la capacidad productiva, la inversión y el empleo.

En el segundo módulo se presenta el modelo de Flujos de Consumidores, el Gobierno y el Sistema de Generación de Bienestar. En este se muestra el aparato productivo de la economía y cómo este está soportando en una estructura de flujos de dinero que hacen posible los procesos de inversión y compra-venta de bienes y servicios. Además, también considera las relaciones entre las cajas de diferentes agentes económicos tales como consumidores y Gobierno y como estas dinamizan las condiciones económicas generales del país. En resumen, este módulo se fundamenta en la concepción del dinero, y como este, a través del intercambio de bienes y servicios con otros agentes económicos genera flujos monetarios independientes entre sí.

Por último, se cuenta con un módulo de población, en el cual se simula el crecimiento poblacional considerando el número de personas según su sexo y su edad, lo que lleva a requerir una detallada calibración de natalidad, mortalidad, y migración para cada grupo de interés.

Algunos de los resultados principales del modelo se muestran a continuación.

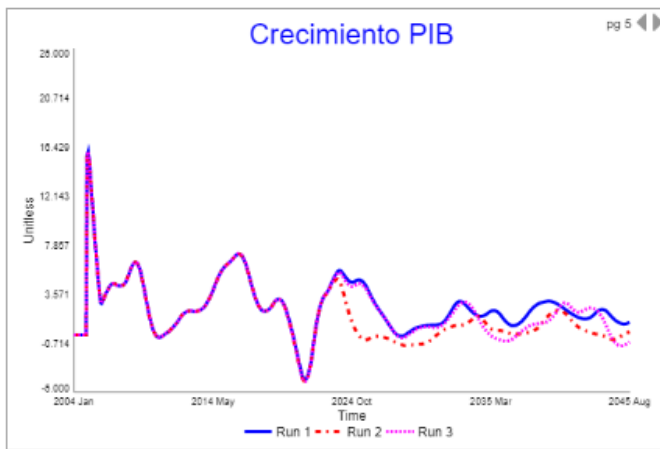


Figura 2. Escenarios de Crecimiento del PIB

Fuente: Elaboración propia

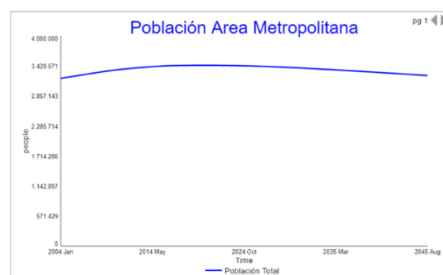
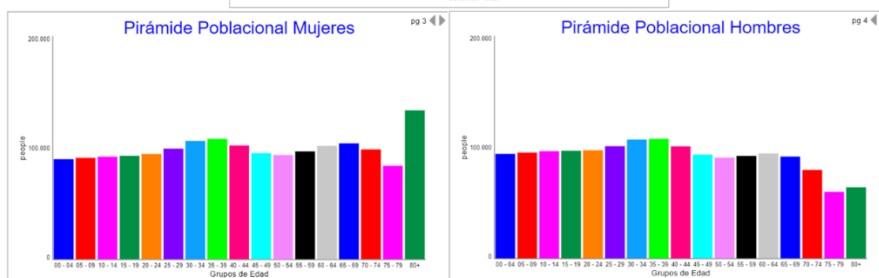


Figura 3. Simulación Población

Fuente: Elaboración propia



En la simulación de la Demografía, la población del departamento de Antioquia, según la Base de Datos Única de Afiliados -BDUA-, es de 6.538.881 personas (a octubre de 2020). El 75,4% de las personas se encuentra en el eje central, seguido por el Urabá y Occidente con el 10,2% de la población, luego se encuentra el Cauca con el 7,2%, Suroeste Urabá Pacífico con 4,1% y finalmente está el Magdalena Medio con el 3,0%. A manera de ejemplo la distribución del eje sur oeste se muestra a continuación y esta se simula al 2035.

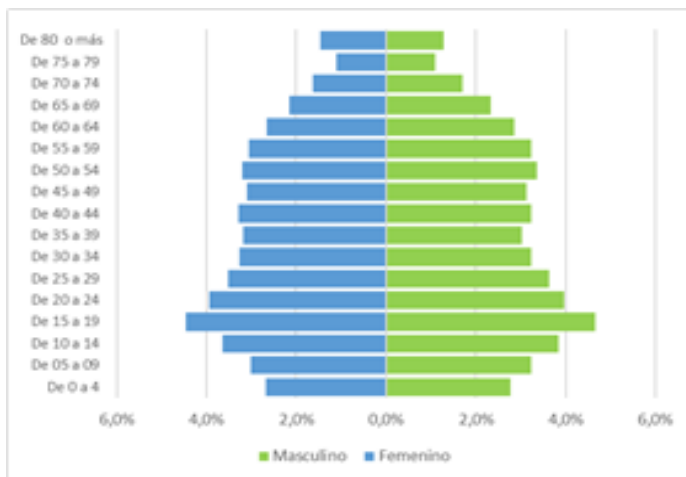


Figura 4. Población Suroeste, y Urabá Pacífico

Fuente: Elaboración propia, con datos del DBUA

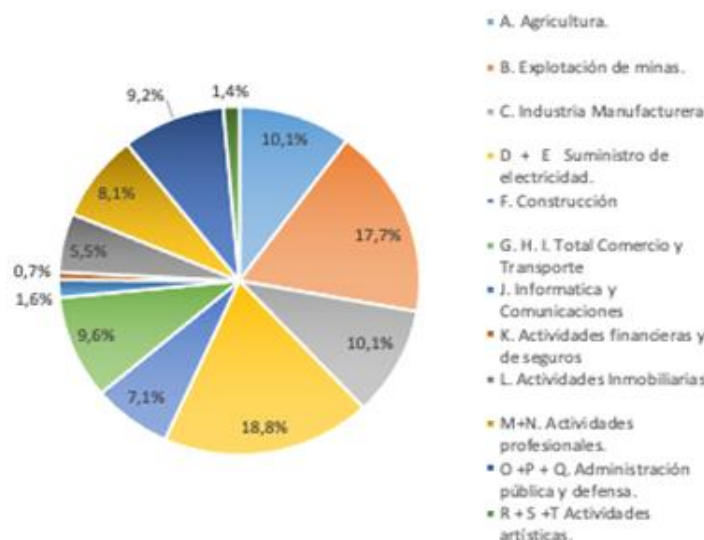


Figura 5. Participación del valor agregado por actividad. Eje Magdalena Medio.

Fuente: Elaboración propia con base en el Departamento Administrativo de Planeación

Idéntico ejercicio se realizó con la economía y el ingreso per cápita de las regiones. Se estableció la composición productiva de cada uno de los ejes, en donde resalta en primer lugar la alta preponderancia del sector agrícola en el eje del Suroeste Urabá Pacífico, en donde representa más del 30% de la producción en dicho eje. También es importante mencionar la importancia de este sector en los demás ejes, pues en Urabá y Occidente representa más del 20%; mientras que en Magdalena Medio y Cauca su preponderancia es del 10%; por último, en el Centro su participación es menor al 4%. El ejemplo de análisis de estructura que se simula y del ingreso per cápita se muestra a continuación:



Figura 6. PIB Per Cápita. Eje Magdalena Medio.

Fuente: Elaboración propia con base en el Departamento Administrativo de Planeación

Un ejercicio particularmente importante era la evaluación del potencial agroindustrial. En la tabla a continuación, se detalla el número objetivo de hectáreas a desarrollar para un conjunto de cultivos específicos con gran potencial de ventas tanto internas como externas. Para este eje solo se consideran factibles los cultivos de cacao, plátano y cítricos para la zona del Magdalena Medio.

Tabla 1. Hectáreas Objetivo Eje Magdalena Medio

PRODUCTO	NUEVAS HECTAREAS OBJETIVO	Producción HA	No. Plántulas	Prod Plántula	Unidad Venta	Precio Venta NAL
Cafés especiales - Cargas	-	18	2.500	0,9	Carga 125 kg	\$ 1.250.000
Cardamomo	-	5.200	1.300	4	kg	\$ 25.000
Cacao	30.000	1.540	1.400	1,1	kg	\$ 9.000
Cítricos	5.000	62.400	260	240	kg	\$ 900
Aguacate	-	41.250	275	150	kg	\$ 2.000
Forestal	-	4.500	1.500	3	m3	\$ 2.000.000
Plátano	10.000	12.600	140	90	kg	\$ 2.100
Pasifloras	-	20.000	200	100	kg	\$ 3.500
Lulo	-	6.750	450	15	kg	\$ 1.800

Fuente: Elaboración propia

Para ver el modelo completo ir al siguiente enlace:

<https://exchange.iseesystems.com/public/diegogomez/modelo-economia-colombia/index.html#page1>

3.2. Modelo de Sostenibilidad Regional

El Modelo de Sostenibilidad Regional (MSR) (Gallón, 2012) se viene desarrollando desde 2008 utilizando la plataforma de iThink/Stella de isee systems y cuenta con 6.478 entidades (439 Niveles, 832 Flujos y 5.207 Conversores y Variables). Su utilidad se centra en explorar la relación entre riqueza, pobreza y sostenibilidad para el desarrollo de Suramérica para responder a la pregunta: ¿cuál es el impacto de la reducción de la pobreza en la sostenibilidad?

El MSR se basa en el trabajo del Club de Roma y el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) y su modelo Límites del crecimiento (Mundo 2 y 3), del Instituto Gund de Ecología Económica de la Universidad de Vermont y su Metamodelo Unificado Global de la Biosfera (GUMBO), del modelo KITWe de uno de los autores de este artículo, del Instituto Millennium y su modelo Threshold 21 (T21) y del Centro de Estudios en Economía Sistémica (ECSIM) y sus Modelos Económicos Nacionales (EN) para Colombia y Gestión Social del Desarrollo (GSD) para Medellín, el Valle Metropolitano de Aburrá y Antioquia.

El MSR consta de 18 módulos en una jerarquía de un solo nivel ya que no ha sido necesario realizarlo en dos o más niveles dado el grado de interconexión entre módulos y la independencia de los componentes agrupados dentro de cada uno. Es así como gran parte de los problemas representados por las hipótesis dinámicas del sistema sudamericano es capturado y codificado siguiendo una estrategia de desacoplamiento más que de disección. Cada módulo, a su vez, está organizado en cuatro sectores de agrupación de componentes principales: Entradas, Datos del módulo, Temas específicos y Totalizadores. La siguiente es una descripción general de cada uno de los módulos.

Recursos: un módulo que tiene 237 entidades. Se consideran siete (7) tipos de recursos: Agua, Minerales, Orgánicos, Biomasa (11 tipos), Tierra, Energía y Vida Silvestre captando el estado de cada uno de ellos como recurso, reserva, suministro, consumo o reciclaje según corresponda.

Servicios ecosistémicos: un módulo que tiene 360 entidades. Se consideran cuatro (4) grandes grupos de servicios ecosistémicos: Regulación, que tiene once (11) clases: Regulación de gases, Regulación climática, Prevención de desórdenes, Regulación hídrica, Abastecimiento de agua, Retención de suelos, Formación de suelos, Ciclo de nutrientes, Tratamiento de residuos, Polinización y control biológico; Hábitat, que tiene dos (2) clases: Función de refugio y Función de vivero. Producción, que tiene cinco (5) clases: Alimentos, Materias primas bióticas, Recursos genéticos, Recursos medicinales y Recursos ornamentales, e Información, que tiene cinco (5) clases: Paisajes, Ecoturismo, Inspiración cultural y artística, Información espiritual e histórica e Información Científica y Educativa. Por lo tanto, el módulo tiene veintitrés (23) clases de servicios ecosistémicos (de Groot et al., 2002)

Población: módulo que cuenta con 1.148 entidades. Permite simular la población humana en términos de fecundidad, mortalidad, número de hombres, número de mujeres, grupos de edad de intervalos de cinco (5) años, grupos de edad por etapas de desarrollo humano y, finalmente, poblaciones rurales y urbanas.

Capitales: módulo que cuenta con 310 entidades. Se consideran once (11) tipos de capital: Natural, Humano, Conocimiento, Cultural, Social, Político, Normas-Normas-Leyes-Constituciones, Técnico, Dinero, Infraestructura (15 tipos) y Comunicación.

Tecnologías: un módulo que tiene 143 entidades. Se consideran cinco (5) clases de tecnologías: Agrícola-Alimentación, Control de la Contaminación, Información y Comunicación, Salud y Energía.

Conectividad: un módulo que tiene 64 entidades. Se consideran cinco (5) clases de conectividad: Aérea, Marítima, Terrestre, Fluvial y Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC).

Movilidad: módulo que cuenta con 217 entidades. Se incluyen cinco (5) tipos de movilidad: Vehículos aéreos, Vehículos marítimos, Vehículos fluviales, Vehículos ferroviarios, Vehículos de carretera.

Contaminación: un módulo que tiene 397 entidades. Se consideran seis (6) tipos de contaminación: Aire (Emisiones de Movilidad, Natural y Antropogénica), Agua (Fuentes Domiciliarias, Sectores Económicos y Urbanización), Residuos Sólidos (Generados por Vivienda, Sectores Económicos y Urbanización), Ruido (Generado por Población, Movilidad, Sectores Económicos y Urbanización), Alumbrado (Producido por Vivienda, Sectores Económicos y Urbanización) y Otros Tipos (Visual, Electromagnético, Térmico, Suelo y Radiactivo)

Mano de obra: módulo que cuenta con 219 entidades. Permite determinar para hombres y mujeres la Población Económicamente Activa (PEA), la Población en Edad de Trabajar (PET) y la Tasa Global de Participación (TGP). Es un módulo sin la típica arquitectura RSM.

Inversión: módulo que cuenta con 274 entidades. Permite determinar la inversión actual y acumulada de los quince (15) sectores económicos de la RSM: Agricultura, Minería y Petróleo, Manufactura, Electricidad Gas y Agua, Construcción, Comercio, Hoteles y Restaurantes, Transportes y Comunicaciones, Intermediación Financiera, Bienes Raíces y Alquiler Actividades, Administración Pública y Defensa, Seguridad Social Colegiación Obligatoria, Educación, Servicios Sociales y Sanitarios, Servicios Comunitarios y Personales y Servicio Doméstico del Hogar.

Producción: un módulo que tiene 782 entidades. Permite determinar la capacidad en uso, la capacidad ociosa, el empleo necesario, las ventas y la producción, el valor agregado y el PIB de cada uno de los quince (15) sectores económicos de la RSM. Además, permite determinar la producción de alimentos.

Demanda: módulo que cuenta con 1.149 organizaciones. Permite determinar la demanda interna, externa e intermedia, la capacidad en uso, la capacidad ociosa, el empleo necesario, las ventas y la producción, el valor agregado y el PIB de cada uno de los quince (15) sectores económicos de la RSM. También permite identificar siete (7) clases adicionales de demanda: Agua, Minerales, Orgánica, Tierra, Energía, Infraestructura y Alimentos.

Fuerza de Consumo: módulo que cuenta con 32 entidades. Permite determinar el ingreso por deciles de población lo que a su vez determina las cifras de pobreza e indigencia por ingreso.

Consumo: un módulo que tiene 340 entidades. Permite determinar el consumo de los quince (15) sectores económicos de la RSM y además siete (7) tipos de consumo: Agua, Minerales, Orgánico, Suelo, Energía, Infraestructura y Alimentos.

Transacciones Monetarias: módulo que consta de 240 entidades. Permite determinar: Deuda, Ahorro, Reservas y Caja para Viviendas y para el Gobierno y también Sistemas de

Generación de Bienestar y Monetario. También determina impuestos, tasas de interés, tipos de cambio y precios. Es un módulo sin la típica arquitectura RSM.

Cálculos agregados: un módulo que tiene 100 entidades. Permite consolidar información para determinar inflación, PIB mensual y anual, crecimiento del PIB, ingreso per cápita, empleo y desempleo y salarios.

Sostenibilidad: módulo que cuenta con 144 entidades. Permite simular la sostenibilidad desde múltiples perspectivas como Esperanza de Vida Humana, Huella Ecológica, Riqueza Ecológica, Estado de Bienestar, IDH o Índice de Bienestar Humano (HWI). También contiene una propuesta para un nuevo enfoque de la métrica de sostenibilidad que se basa en un modelo de equilibrio de sistemas multiescala anidados complejos que consideran cinco niveles: celular, humano, humanidad, continente y planeta.

Escenarios: un módulo que tiene 248 entidades. En este módulo se gestionan las condiciones que determinan los cinco (5) escenarios de simulación que se describen a continuación.

Se han definido escenarios para el MSR que determinan parámetros estructurales y dinámicos del modelo del sistema sudamericano. Se estructuran a partir de la fusión de las propuestas de ECSIM y la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio en dos dimensiones: una dependiendo del tipo y escala de la estructura social, económica y ambiental que puede ser integrado globalmente o aislado localmente, y otro según el tipo y origen del desarrollo, que puede ser proactivo desde la sociedad o reactivo desde el Estado. Por tanto, para el rango de tiempo comprendido entre los años 2003 a 2028, se proponen los siguientes escenarios:

Escenario base (E1): sigue la tendencia observada en el primer año del modelo durante los 25 años simulados. Sirve como referencia para modificar los parámetros que definen los otros escenarios como se comenta a continuación.

Sociedad Proactiva Globalmente Integrada (E2): se define en el área ocupada por una mezcla de integración global y desarrollo de la sociedad y tiene como evidencia el papel principal de diversos grupos sociales organizados y comunicados, orquestados por un Estado catalizador y facilitador, en un entorno de instituciones globales de gestión y gobierno fuertemente conectado con una gestión ambiental avanzada proactiva basada en la economía ecológica y en tecnologías verdes.

Estado Reactivo Globalmente Integrado (E3): se define en el área ocupada por una mezcla de integración global y desarrollo desde el Estado y tiene como evidencia el papel principal de un Estado controlador y mesiánico que busca el crecimiento económico, la equidad y la defensa de los bienes públicos en un entorno de instituciones globales de gestión y gobierno fuertemente conectado con una gestión ambiental reactiva en la que los grupos sociales son escasos o incluso inexistentes.

Sociedad Proactiva Localmente Aislada (E4): se define en el área ocupada por una mezcla de aislamiento local y desarrollo de la sociedad y tiene como evidencias el protagonismo de diversos grupos sociales organizados sin comunicación entre ellos, donde no se percibe el Estado, en un entorno de instituciones locales de gestión y gobierno débilmente conectadas y con una gestión ambiental proactiva basada en la gestión integrada, la adaptación local y el aprendizaje.

Estado Reactivo Localmente Aislado (E5): se define en el área ocupada por una mezcla de aislamiento local y desarrollo del Estado y tiene como evidencia el papel principal del Estado autoritario y mesiánico que busca la defensa nacional en un ambiente de instituciones locales

de gestión y un gobierno débilmente conectado y con una gestión ambiental reactiva en la que no existen grupos sociales.

De esta manera, con el MSR se encuentra que Sudamérica ha sido una región sostenible en un estado uniforme no intervenido en función de sus indicadores de Riqueza Ecológica, pero la inercia del rápido crecimiento poblacional de las últimas décadas, que durará por lo menos otros 5 años y que sumará unos al menos tres millones de habitantes en promedio por año, junto con los efectos de la movilidad Necesidades-a-Deseos, muestran en el período simulado y bajo las condiciones del escenario base, un aumento en la Esperanza de Vida, Contaminación y Huella Ecológica, y una reducción en la Biocapacidad y en todo tipo de las cifras de Recursos Naturales aún sin reducir significativamente la pobreza. El escenario base mostró que América del Sur está en transición para convertirse en una región insostenible durante la década de 2010.

De manera que la reducción de la pobreza contemporánea en Sudamérica no es sostenible. Hay evidencia de inconsistencias o desalineaciones entre las concepciones tradicionales de desarrollo y sostenibilidad. Este es un resultado similar a lo largo de los cinco escenarios, lo que implica que no hay evidencia de cambiar la estructura y la dinámica de las necesidades a deseos existentes.

No se genera bienestar articulado sostenible. La pobreza entendida como la incapacidad de generar suficiente bienestar sostenible y de involucrar a los desarticulados al sistema generador. Será necesario explorar cómo valorar los servicios ecosistémicos en el ciclo de vida del consumo, la transformación limpia del sistema productivo, la redefinición de los patrones de consumo y la pedagogía comunitaria sobre el uso de los recursos públicos locales, regionales y globales.

Para ver el MSR ir al siguiente enlace:

<https://exchange.iseesystems.com/public/diegogomez/msr-v4/index.html#page1>

3.3. Modelo de Metabolismo Urbano

Tomando como base modelos preexistentes destinados a la simulación del crecimiento demográfico, la dinámica urbana y especialmente el metabolismo urbano, se desarrolló un modelo en dinámica de sistemas que recoge las interacciones de diferentes módulos, que en conjunto representan el intercambio de materiales y energía que se presenta en una Ciudad. De esta manera el principal impulsor del modelo es la población, la cual, a través de su evolución permite estimar la demanda de Transporte, Agua y energía eléctrica.

El consumo de estos recursos desencadena la producción de residuos que se calculan en los módulos de residuos sólidos, aguas residuales, y emisión de gases de efecto invernadero. Por otra parte, mediante la implementación de las políticas públicas establecidas se determina el uso que se da al suelo disponible (residencial, comercial, industrial e institucional) permitiendo en última instancia conocer la cantidad de suelo destinado para espacio público y áreas verdes en la ciudad.

El horizonte temporal de este modelo es de 31 años, empezando en enero de 2004 hasta diciembre de 2035, el paso de simulación corresponde a 1 mes, y ha sido validado para el periodo 2004-2019.

Para la definición de los impactos de la implementación de las políticas públicas mencionadas anteriormente, se procedió a realizar corridas del modelo para cada uno de los cuatro escenarios definidos sin implementar las iniciativas propuestas y luego contrastar esos resultados con los obtenidos al simular los mismos escenarios, pero incluyendo la implementación de cada iniciativa por separado. Para cada iniciativa se definió una métrica de éxito (qué variable mide el logro de esa iniciativa en particular)

Para ver el MSR ir al siguiente enlace:

<https://exchange.iseesystems.com/public/diegogomez/modelo-metabolismo-urbano/index.html#page1>

3.4. Modelo de Desarrollo Regenerativo

El modelo de Desarrollo Regenerativo nace del dilema entre la necesidad de crecimiento económico requerido para la superación de la pobreza y el impacto ambiental que esta generara. Se plantea un nuevo proceso de entendimiento de la pobreza y el desarrollo, con el que se ha venido trabajando. Este parte de la simulación de Gaula, un pueblo aislado a las orillas del mar, y en el cual sus pobladores viven su vida en tranquilidad, entre actividades de pesca y pan coger. A este pueblo llega Arturo, un empresario que decidió pasar sus vacaciones lejos de la ciudad, y en un ambiente más natural. Arturo se queda en la casa de unos pescadores del pueblo Martín y su hijo Pablo. Arturo quedó fascinado con el sabor y textura de unos crustáceos locales poco comunes que Pablo solía llevar a su casa. Antes de volver a casa Arturo le pregunta a Pablo por los crustáceos, este le dice que se llaman tocos y lo lleva a una laguna de agua dulce donde Pablo tiene su cultivo, allí los atrapa en cestas y los engorda y alimenta con comida y pescado, para así poder disfrutar de estos, luego de que pase la temporada de tocos.

Finalmente, luego de terminar sus vacaciones, Arturo vuelve a casa y trae consigo algunos tocos para sorprender a amigos y clientes. Justamente estos últimos quedaron encantados y desean adquirir más, por lo que Arturo vuelve a Gaula y le plantea a Pablo la opción de iniciar una operación de venta de tocos, la cual es aceptada.

Luego de empezar la operación, se nota como poco a poco empieza a crecer la demanda, las familias que se unen, empiezan a prosperar y con el tiempo cada una de las familias restantes también participan de este nuevo bienestar, con lo cual se empezaron a construir escuelas, centros de atención médica, mejores carreteras, y otros tipos de infraestructura necesaria en la región.

El modelo de simulación desarrollado, se ubica en Gaula, y permite simular toda la situación descrita y resolver algunos interrogantes que surgen en el camino como:

- ¿Cómo es el proceso, en el cual las familias se vinculan a la generación de bienestar?
- ¿Qué significa el índice de inequidad?

¿Qué tan sostenible es este sistema, considerando que los tocos se cultivan en una laguna la cual, se afecta por la misma actividad productiva?
 ¿Y en general cómo la venta de tocos transforma al pueblo de Gaula?

En las siguientes figuras se presentan, la simulación de tres escenarios distintos del desarrollo del poblado de Gaula

La corrida número 1 (línea azul) correspondiente a la simulación de un poblado de Gaula, en el cual no se ha tomado la decisión de iniciar la actividad de cultivo y venta de tocos, como resultado se tiene un índice de inequidad igual 1 (1 indica máxima igualdad) en la esquina inferior izquierda del gráfico anterior, en el cual toda la población es igual de pobre, hay desempleo total, y no hay generación ni consumo de bienes y servicios (esquina inferior derecha del gráfico anterior).

En la segunda corrida (línea roja punteada), se tiene que solo una parte de las familias, ha decidido incursionar en la venta de tocos, y cómo resultado de esto, se aprecia un excesivo incremento del índice de inequidad, dado a que las familias que venden tocos ahora tienen la capacidad de adquirir bienes y servicios para satisfacer algunas de sus necesidades, mientras sus congéneres continúan en condiciones de pobreza extrema.

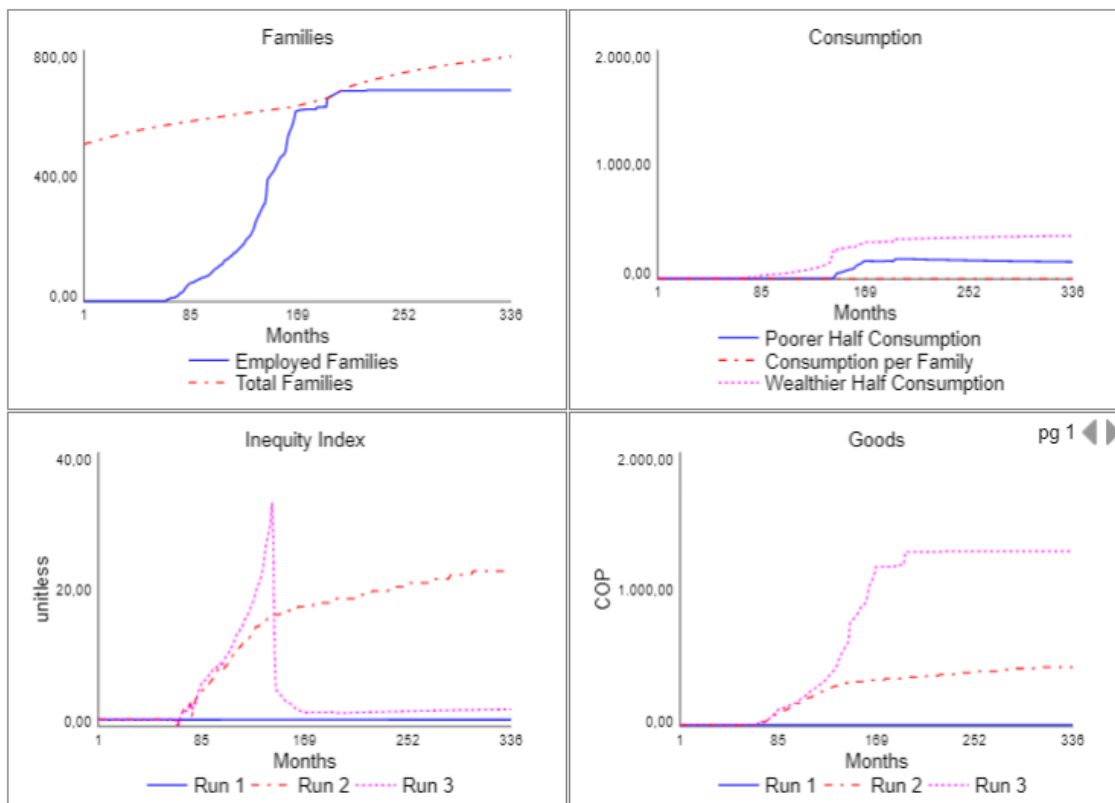


Figura 7. Simulación Escenarios Desarrollo de Gaula

Fuente: Elaboración propia

Para la tercera corrida (línea fucsia punteada), se presenta un escenario en el que inicialmente se tiene el mismo número de familias involucradas en la actividad de cultivo y venta de tocos,

sin embargo, el ver las mejores condiciones de vida, hace que cada vez más familias se unan a esta actividad, lo que genera que el índice de inequidad crezca aún más, hasta que a partir de un punto, cae y vuelve a sus niveles de igualdad, esto como causa de que ahora todas las pobladores de Gaula hace parte del sistema productivo.

Estos resultados resaltan un importante hallazgo sobre lo que realmente quieren decir los índices de inequidad, los cuales dicen mucho más, que simplemente que hay una diferencia de ingresos entre diferentes deciles de población, sino que indican que hay una proporción de la población que no hace parte de la generación de bienestar económica.

Para ver modelo de Gaula en detalle ir al siguiente enlace:

<https://exchange.iseesystems.com/public/diegogomez/gaula/index.html#page1>

3.5. Modelo Emprendimiento e Inclusión Social

El equipo de modelamiento de sistemas de ECSIM desarrolló un MBA con el propósito de estudiar la interacción entre el emprendimiento de una sociedad y el nivel de inclusión que puede alcanzar con ello. Para ello se utiliza la Metáfora de Gaula (Gomez, 2005), de la que se llevan varias ideas al MBA:

Gaula es un poblado compuesto por familias (agentes). Cada familia tiene la opción de emprender, lo que se materializa en el acto de cultivar y recolectar tocos (un crustáceo endémico de la región, y que es cultivado en la Laguna de Gaula. Cada familia es autónoma para decidir si emprende (en cuyo caso va a Laguna a explotar los tocos) o no (en cuyo caso se queda en la playa).

La Laguna permite que se cultiven tocos, usando reproducción asistida. Esto significa que la población de tocos explotable puede ser incrementada, hasta alcanzar un tope dado por las condiciones límite de la Laguna. Sin embargo, se requiere un esfuerzo y dedicación de recursos para lograr dicha reproducción, para no depender de una tasa baja de reproducción natural de los tocos.

Surgen preguntas, que dan pie al desarrollo de un MBA:

- (1) ¿Un aumento en el emprendimiento³ incide en los niveles de inclusión⁴?
- (2) Si los niveles de emprendimiento son altos, ¿la explotación de recursos (tocos) puede condicionar la sostenibilidad del recurso (tocos en la Laguna), y de Gaula?

Para abordar estos interrogantes se desarrolló un MBA en la plataforma Netlogo 6.2.2, especializada en el desarrollo y simulación de MBA. El modelo resultante ha sido publicado en el portal de ECSIM y puede ser ejecutado y consultado libremente por el lector. Para ello se debe:

³ Porcentaje de familias dedicadas a cultivar tocos.

⁴ Representada como distribución del ingreso, y medida con el coeficiente Gini.

- Dar clic sobre el siguiente link a modelo "Gaula Lagoon" https://fundacionecsim.org/modelos_ecsim/Gaula%20Lagoon%2008ago2022_byECSIM.html
- Aparecerá la siguiente Ventana (Figura 8), que se recomienda visualizar en pantalla completa:



Figura 8. Interfaz simulación Netlogo

Fuente: Elaboración propia

- Para inicializar el modelo y preparar la simulación, dar clic en el botón "Setup" (zona superior izquierda de la ventana).
- A continuación, dar clic en el botón "Go" para que la simulación corra de forma continua, o "Step" para que corra paso a paso, un mes cada que se dé clic.

La simulación toma un aspecto como el que muestra la figura 9, a continuación. En la ventana al lado derecho, se pueden ver los agentes (familias) representadas con una figura humana, y los tocos, representados como pequeños animales en la laguna (zona azul). Las familias que decidieron emprender se ubican en La laguna, las que decidieron no hacerlo, se ubican en tierra (zona verde). Cuando el modelo está corriendo (botones "Step" o "Go"), pueden verse los agentes tomando decisiones (emprender o dejar de hacerlo), así como recolectando tocos en la laguna.

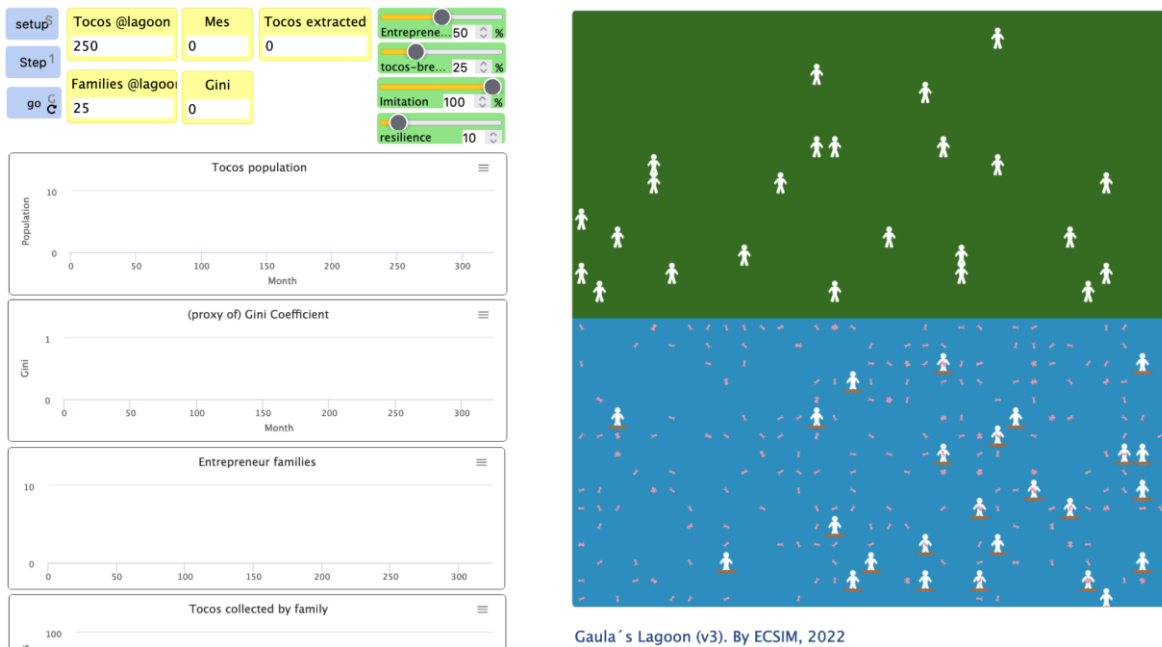


Figura 9. Interfaz simulación Netlogo

Fuente: Elaboración propia

A la izquierda, se encuentran gráficas que presentan la evolución en la cantidad de familias emprendiendo, en la cantidad de tocos en la laguna, y el coeficiente Gini de la población de Gaula.

Mediante la herramienta de simulación disponible en el portal de ECSIM (Vínculo más arriba), el lector podrá hacer experimentos para explorar asuntos como las preguntas (1) y (2), previamente planteadas.

Para probar si un aumento en el emprendimiento incide en el coeficiente Gini (Pregunta 1), se propone experimentar con varias simulaciones, en las que se varían los parámetros Entrepreneurship (porcentaje de la población que es emprendedora, al inicial el modelo en el primer mes), tocos_breed (tasa de reproducción anual de los tocos, medida en porcentaje), Imitation (tasa de imitación de las familias para emprender, determinada como la probabilidad de que una familia decida participar en la actividad económica cuando reconoce que sus vecinos están teniendo éxito en ella) y Resilience (cantidad de períodos que una familia emprendedora puede pasar sin obtener ingresos por la actividad económica, sin que desista de continuar emprendiendo).

Cuando inician las simulaciones, el valor de Gini es alto (cercano a 1), pues solo una familia (o unas pocas, en el mejor de los casos) habrá recolectado tocos. A medida que se avanza en el tiempo, puede evidenciarse que el valor de Gini va disminuyendo, como efecto de que otras familias han participado en la recolección, logrando una mayor distribución de los ingresos de Gaula. También se puede reconocer que a medida que en las simulaciones se hace aumentar el nivel de emprendimiento (resultante de valores más altos de Entrepreneurship, Imitation o Resilience), el valor de Gini a largo plazo converge hacia valores más bajos. De acuerdo con las simulaciones, esto significa que si la aumenta el

porcentaje de población de Gaula que emprende, se logra una mayor distribución de la riqueza y una mayor equidad, representado por un valor de Gini más reducido⁵, como se ve en la figura 10, a continuación:

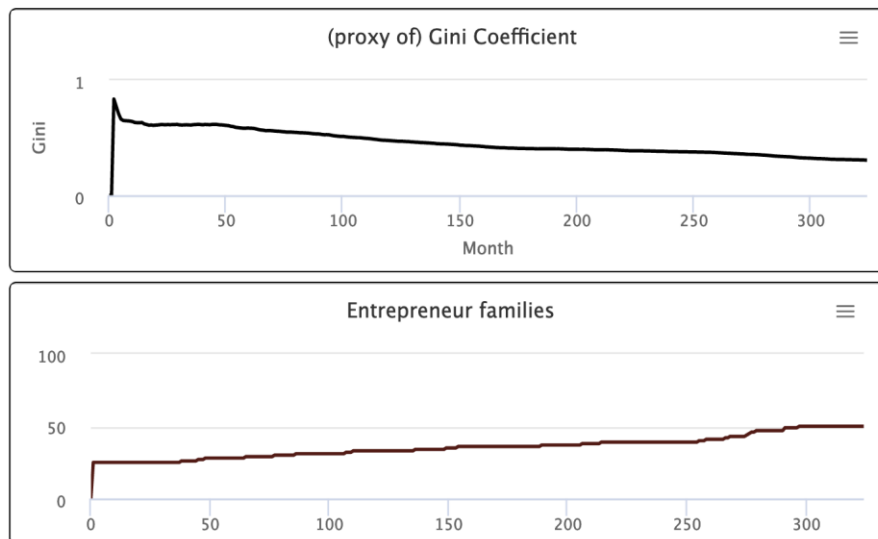


Figura 10. Simulación Gaula -

Fuente: Elaboración propia

Respecto a la pregunta 2: en las simulaciones con alto desarrollo económico, la intensa actividad económica involucra una mayor demanda de recursos (tocos). En simulaciones donde la mayoría de las familias se ubica en la laguna y recolecta tocos, la población de tocos tiende a disminuir⁶ e incluso puede suceder la extinción de los tocos, activando una crisis de sostenibilidad para Gaula. Por este motivo, se puede entender que una baja capacidad de reproducción de los tocos limita la posibilidad de mantener una alta actividad emprendedora, que por otro lado es deseable para que la población de Gaula disfrute de bienestar y una buena distribución del ingreso. La figura 11;**Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, a continuación, muestra una simulación con altos valores en los parámetros favorables al emprendimiento (Entrepreneurship, Imitation, Resilience), mientras la tasa de reproducción de tocos alcanza un 5%. Las gráficas muestran que al principio aumenta la cantidad de familias que participan en la actividad económica, pero al avanzar en el tiempo, el alto uso de recursos no permite que la población de tocos se recupere, y en lugar de ello disminuye. Por este motivo, las familias van desistiendo al avanzar en el tiempo, lo que se identifica en la disminución de familias emprendedoras en la parte final de simulación. Al no ser sostenible

⁵ Se sugiere probar corriendo el modelo con valores diferentes de Entrepreneurship, Imitation y Resilience en el modelo Gaula Lagoon. Para ello, usar los controles de cada parámetro para variar su valor, antes de dar clic en los botones Setup, y luego Go. Se sugiere mantener un valor alto de tocos-breeding, por razones que se explican más adelante.

⁶ Probar, por ejemplo una simulación con parámetros altos de Entrepreneurship, Imitation y Resilience, y un valor bajo (por ejemplo 5%) de tocos-breeding).

la economía de los tocos en Gaula, y pese al interés inicial en emprender, el coeficiente Gini se mantiene alto.

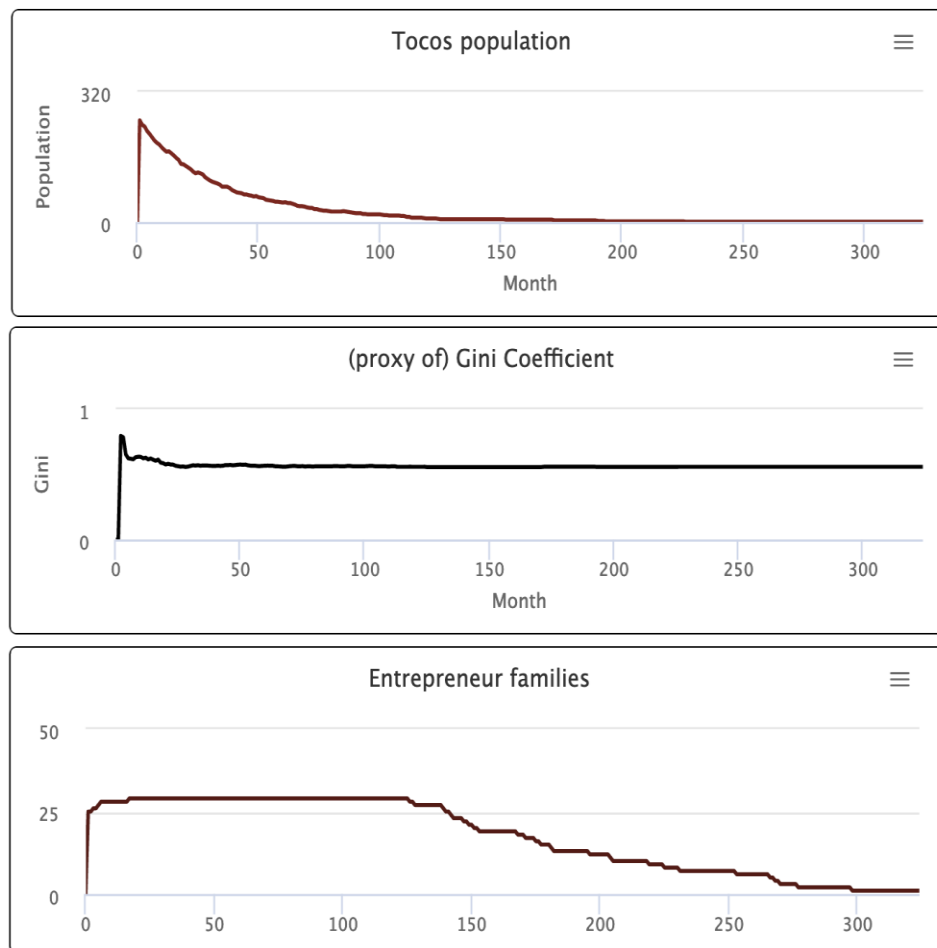


Figura 11. Simulación Gaula – Nivel alto de Emprendimiento

Fuente: Elaboración propia

Sin embargo, se debe recordar que los tocos pueden ser cultivados, pues los habitantes de Gaula han aprendido cómo reproducirlos artificialmente. Esto significa que, si las familias coordinan esfuerzos e invierten recursos y tiempo en aplicar las técnicas de reproducción, tienen la posibilidad de gestionar un aumento de la tasa reproductiva. El efecto de este cambio puede obtenerse en una simulación donde se aumente el parámetro *Tocos-breed*. El efecto de ello será una simulación con resultados como los que presenta figura 12, a continuación. En ella, Gaula exhibe una alta actividad emprendedora, pues la mayoría de las familias optan por permanecer en la laguna y cultivar tocos, pero ello no involucra una disminución de los tocos, debido a una alta reproducción. En esta simulación se manifiestan condiciones de desarrollo regenerativo, que se manifiesta en los resultados como un alto valor de tocos extraídos. Al tiempo, la población de tocos logra restaurarse y por ello no se da una disminución alarmante. Además, una mayor cantidad de familias decidió emprender y no desistió de ello. Esta combinación de condiciones de mayor emprendimiento y capacidad de regeneración de los recursos propició que se obtenga un valor reducido del coeficiente Gini.

Esto indica que la economía de Gaula alcanzó condiciones de inclusión, distribuyendo la riqueza entre las familias.

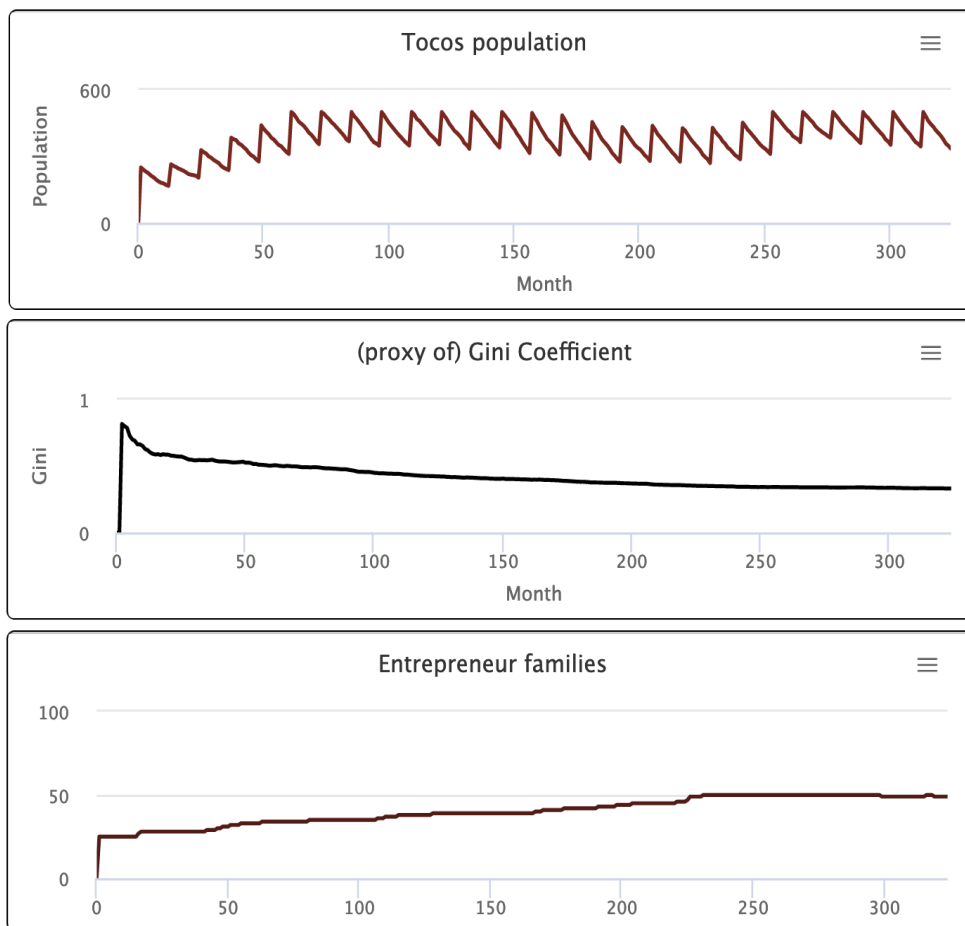


Figura 12. Simulación Gaula – Recuperación Tocos

Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

En el caso de Medellín y Antioquia la utilización de herramientas de simulación ha sido útil en el diseño de políticas y en la construcción de visiones y estrategias de cambio apoyados en procesos de pedagogía social soportados en simulaciones.

La simulación es una herramienta que permite abordar una gran variedad de sistemas desde un enfoque particular, y brinda la ventaja de permitir interactuar con estos, y ver los resultados de diferentes acciones o estrategias que se desean tomar para afectar a los mismos.

Cada uno de los paradigmas de simulación tiene sus ventajas y posibilidades frente a los demás y generalmente con el enfoque correcto se pueden obtener resultados accionables de cualquiera de los paradigmas, sin embargo, el usarlos en conjunto como se mostró en este documento para la simulación del poblado de Gaula, permite llegar a un nivel de abstracción mayor, tanto para la simulación del sistema como para la aplicabilidad de sus resultados.

REFERENCIAS

Acheampong, R. & Asabere, S. (2021). Simulating the co-emergence of urban spatial structure and commute patterns in an African metropolis: A geospatial agent-based model. *Habitat International*, Volume 110, 102343. ISSN 0197-3975. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2021.102343>.

Álvarez Claudia, Ángel Enrique, Arenas Lehyton, Gallón Luciano, Gómez Diego Fernando, González Germán, Quintero Juan Camilo, Poveda Jaime. Una Estrategia de Minería Verde y Desarrollo Regenerativo para Colombia en un Contexto de Transformación Global. Envigado: Fondo Editorial EIA, 2021.

Bedoya, G., & Gallón, L. (2016). Characterization of Development Models and its impact on policy implementation. Third ISA Forum of Sociology.

Bedoya, G., & Gallón, L. (2018). Advances in the characterization of global development models. XIX ISA World Congress of Sociology.

Bernhardt, K., & McNeil, S. (2008). Agent-Based Modeling: Approach for improving infrastructure management. *Journal of Infrastructure Systems*. 14 (3).
En <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%291076-0342%282008%2914%3A3%28253%29>

Cámara de Comercio de Medellín para Antioquia, CONTRATO No. 2020445. Estructura de Ejes de Desarrollo Información socioeconómica, población y producto. PROYECTO: Actualización del modelo de simulación dinámica de Antioquia y sus subregiones. 2021

Chu, Z., Yang, B., Ha, C. & Ahn, K. (2018). Modeling GDP fluctuations with agent-based model. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. Volume 503, Pages 572-581, ISSN 0378-4371. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2018.02.019>.

Eftonova, T., Kiran, M., & Stannett, M. (2017). Long-term Macroeconomic Dynamics of Competition in the Russian Economy using Agent- based Modelling. *International Journal of System Dynamics Applications*, 6(1), 1-20. <http://doi.org/10.4018/IJSDA.2017010101>

Forrester, J. W. (1971a). Counterintuitive behavior of social systems. *Technology Review*, 73(3), 52–68.

Forrester, J. W. (1971b). *Industrial Dynamics*. MIT Press.

Forrester, J. W. (1989). The Beginning of System Dynamics. *International Meeting of the System Dynamics Society*, 16.

Forrester, J. W. (2007a). System Dynamics - A personal view of the first fifty years. *System Dynamics Review*, 23(2–3), 345–358. <https://doi.org/10.1002/sdr.382>

Forrester, J. W. (2007b). System Dynamics - The next fifty years. *System Dynamics Review*, 23(2), 359–370. <https://doi.org/10.1002/sdr>

Gallón, L. (2012). Modelo de Sostenibilidad Regional: Dinámica de Sistemas para enfrentar la pobreza en Suramérica. <http://hdl.handle.net/10803/77953>

Gallón, L. (2019a). Models in sociocybernetics: A 20 year review at the ISA-RC51 on Sociocybernetics. *Current Sociology*, 67(4). <https://doi.org/10.1177/0011392119837535>

Gallón, L. (2019b). Systemic Thinking. In W. Leal Filho, A. M. Azul, L. Brandli, P. G.

Gazda, J., Kovac, V., Toth, P., Drotar, P. & Gazda, V. (2017). Tax optimization in an agent-based model of real-time spectrum secondary market. *Telecommunication Systems* 64, pp. 543–558. <https://doi.org.ezproxy.unal.edu.co/10.1007/s11235-016-0180-4>

Gómez Sánchez, Diego, F. (2005). *Repensando el Desarrollo*. Centro de Estudios en Economía Sistémica.

Huber, L., Bahro, N., Leltinger, G., Tappeiner, U. & Strasser, U. (2019). Agent-Based Modelling of a Coupled Water Demand and Supply System at the Catchment Scale. *Sustainability*, 11 (21). <https://doi.org/10.3390/su11216178>

Özuyar, & T. Wall (Eds.), *Quality Education. Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals* (pp. 1–11). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-69902-8_58-1

Mang, Pamela; Reed, Bill; *Regenerative Development and Design*, Regenesi Group Chapter 303, *Encyclopedia Sustainability Science & Technology*, 2nd Edition 2017

Meadows, D. H., Meadows, D. L., Randers, J., & Behrens III, W. W. (1972). *The Limits to growth: a report for the Club of Rome's project on the predicament of mankind*. Universe Books.

Lavička, H., Lin, L. & Novotný, J. (2010). Employment, Production and Consumption model: Patterns of phase transitions. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 389 (8). 1708-1720. ISSN 0378-4371. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2009.12.046>.

Llacer, T., Noguera, M. & Tapia, E. (2013). An agent-based model of tax compliance: an application to the spanish case. *Advances in Complex Systems*. 16 (4-5). <https://doi.org/10.1142/S0219525913500070>

Rizzi, R., Kaizer, W., Rizzi, C., Galante, G. & Coelho, F. (2018). Modeling Direct Transmission Diseases Using Parallel Bitstring Agent-Based Models. *IEEE Transactions on Computational Social Systems*. 5 (4). pp. 1109-1120. doi: 10.1109/TCSS.2018.2871625.

Rodríguez, L. (2015). Modelos basados en agentes: aportes epistemológicos y teóricos para la investigación social. *Revista Mexicana de Ciencias Políticas y Sociales*, 60 (225). ISSN 0185-1918. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-19182015000300227

Siebers, P., Lim, Z., Figueredo, G. & Hey, J. (2020) An Innovative Approach to Multi-Method Integrated Assessment Modelling of Global Climate Change. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*. 23 (1). doi: 10.18564/jasss.4209. <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/23/1/10.html>.

Silveira, J., Espíndola, A. & Penna, T. (2005). An agent-based model to rural-urban migration analysis. *Physica-A Statistical Mechanics and its applications*. 364, pp. 445-456. <https://arxiv.org/pdf/physics/0506021.pdf>

Snellman, J., Barrio, R., Kaski, K. & Käpylä, M. (2022). Modelling the interplay between epidemics and regional socio-economics. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. 604 (127696). ISSN 0378-4371. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2022.127696>.

Stricker, L. & Baruffini, M. (2017). Spatial Planning and Policy Evaluation in an Urban Conurbation: a Regional Agent-Based Economic Model. *Economy of Region*, 13(1), pp. 261-275. doi 10.17059/2017-1-24

Xiong, W., Fu, H. & Wang, Y. (2017). Money creation and circulation in a credit economy. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. 465. pp. 425-437. ISSN 0378-4371. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2016.08.023>.

Yahyaoui, F. & Tkiouat, M. (2018). Agent-Based Co-Modeling of Information Society and Wealth Distribution. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*. 9 (11). <https://pdfs.semanticscholar.org/fb49/cf30627670a1c89300a072b73b594b762a97.pdf>

Zheng S., Trott A., Srinivasa S., Parkes D. & Socher R. (2022). The AI Economist: Taxation policy design via two-level deep multiagent reinforcement learning. *Science Advances*. 8(18). doi: 10.1126/sciadv.abk2607.

NORMAS DE PUBLICACIÓN REVISTA SAI (Tamaño 12)
Utilizar Mayúsculas en cada Palabra en el Caso del Título (Tamaño 12)

Apellido, Nombre¹; Apellido, Nombre²; Apellido, Nombre³ (Tamaño 9)

¹*Grado académico, Universidad, Institución, Ciudad, País, año (Tamaño 9)*

²*Grado académico, Universidad, Institución, Ciudad, País, año*

³*Grado académico, Universidad, Institución, Ciudad, País, año*

Resumen: Hasta 50 palabras. Los escritos deben ser preparados por el autor, en español, en formato Microsoft Word, de acuerdo con el formato enviado adjunto. Letra Times New Roman 12, espacio simple, entre **6 y 15 páginas**, justificado.

Palabras clave: Incluir una lista de 3 a 5 palabras claves

DESARROLLO

Por favor no cambie los tamaños de fuente o el espaciado de renglones, utilice cursiva o negrita para dar énfasis a un texto.

El nombre y numeración consecutiva de las figuras deben estar centradas debajo de las figuras, los títulos de las tablas deben estar centrados encima de ellas. Mencione las figuras y tablas en el texto antes de estas. Para la mención de figuras, tablas o ecuaciones utilice las palabras completas con la primera letra en mayúscula, por ejemplo "Figura 1". Coloque las unidades entre paréntesis. Por ejemplo, escriba "Temperatura (K)", no "Temperatura K". Si la Figura no es de creación propia por favor hacer la citación de la fuente.

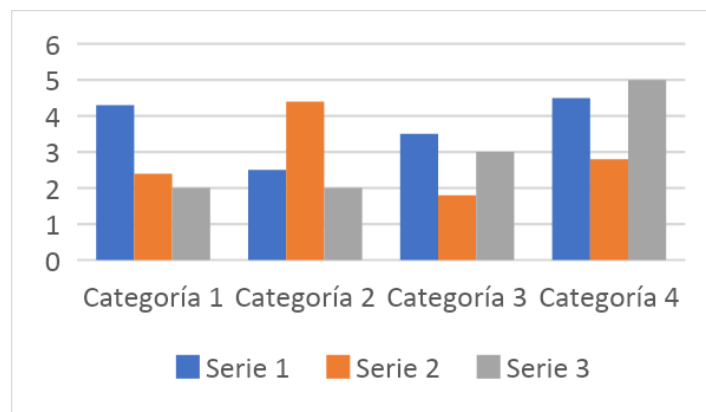


Figura 1. Distribución por categorías (Tamaño 10)

Fuente: Elaboración propia (Tamaño 9)

Las márgenes de esta plantilla se especifican en la Tabla 1. Todas las medidas están en centímetros. El tamaño del texto en las tablas es 10.

Tabla 1. Márgenes de página

Página	Superior	Inferior	Izquierda/Derecha
Primera	3,0	2,5	3,0
Resto	3,0	2,5	3,0

Fuente: Elaboración propia



Sociedad Antioqueña de
Ingenieros y Arquitectos

La Fuerza de la Razón - 1913

   @SAIantioquia

Transferencia de conocimiento
Expertos · Relaciónamiento

Te invitamos a ser parte de nuestra organización que construye ciudad, región y país.

Somos una comunidad que trabaja en equipo para seguir **construyendo** la **sociedad** y el **futuro que queremos**.



www.sai.org.co