

Abril - Junio de 2011

ISSN 0121-5132
P.V.P. Colombia \$12.000,00



Publicación admitida por Colciencias en el
Índice Nacional de Publicaciones Seriadas,
Científicas y Tecnológicas colombianas -
Publindex - Clasificación tipo C
Publicación incluida en Ulrichsweb.com™
Tarifa postal reducida No. 2010-107
4-72 la Red Postal de Colombia
Vence 31 de diciembre de 2011

- Guía para el manejo y control de la calidad del agua en piscinas de uso público.
- Fatiga en mezclas asfálticas por flexión debido a cargas cíclicas.
- El agua como vehículo de microorganismos patógenos. Bacteria Escherichia coli.
- Unite your corporate links of knowledge and boost the team's impact in the enterprise.
- **SIMPOSIO**
"Las fisuras del sistema capitalista".
Conferencias
La recesión mundial: crítica a la visión ortodoxa.
The social environmental consequence of neoliberalism.
- **ENTREVISTAS**
Eduardo Sarmiento Palacio
Michael Perelman



REVISTA DE LA ESCUELA COLOMBIANA DE

Ingeniería

82

CONSEJO DIRECTIVO DE LA ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA

PRESIDENTE	GERMÁN EDUARDO ACERO RIVEROS
VOCALES	LUIS GUILLERMO AYCARDI BARRERO SANDRA XIMENA CAMPAGNOLI MARTÍNEZ MARÍA DEL ROSARIO MONTEJO PERRY ARMANDO PALOMINO INFANTE RICARDO QUINTANA SIGHINOLFI HÉCTOR ALFONSO RODRÍGUEZ DÍAZ GERMÁN RICARDO SANTOS GRANADOS JAIRO URIBE ESCAMILLA JUAN MANUEL LUNA GORDILLO (Representante de los profesores) SERGIO CAMILO DÍAZ FUENTES (Representante de los estudiantes)
RECTOR	ROBERTO RÍOS MARTÍNEZ
SECRETARIO	RICARDO ALFREDO LÓPEZ CUALLA

REVISTA DE LA ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA

DIRECTOR	JAIRO ALBERTO ROMERO ROJAS
COMITÉ EDITORIAL	GERMÁN EDUARDO ACERO RIVEROS CLAUDIA RÍOS REYES PAULA XIMENA RÍOS REYES HÉCTOR ALFONSO RODRÍGUEZ DÍAZ RICARDO SALAZAR FERRO GERMÁN RICARDO SANTOS GRANADOS
DIRECCIÓN EDITORIAL	CRISTINA SALAZAR PERDOMO
EDICIÓN	DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN JORGE CAÑAS SEPÚLVEDA CORRECCIÓN DE ESTILO ELKIN RIVERA GÓMEZ
DIRECCIÓN COMERCIAL	EDITORIAL ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA

Versión digital disponible en <http://www.escuelaing.edu.co/revista.htm>

AUTOPISTA NORTE AK 45 N.º 205-59
TEL.: (091) 668 3600, EXTS. 533 Y 397
revista@escuelaing.edu.co
BOGOTÁ, D.C., COLOMBIA

LA ESCUELA Y LA REVISTA NO SON RESPONSABLES DE LAS IDEAS Y CONCEPTOS EMITIDOS POR LOS AUTORES DE LOS TRABAJOS PUBLICADOS. SE AUTORIZA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE LOS ARTÍCULOS DE LA REVISTA SI SE CITAN LA FUENTE Y EL AUTOR.

Contenido

5 / EDITORIAL

Quince años del programa de Economía de la ESCUELA

Ada Beatriz Torres Alayón

7-15

Guía para el manejo y control de la calidad del agua en piscinas de uso público

Jairo Alberto Romero Rojas y Yuly Andrea Sánchez Londoño

Presentación de los resultados principales del estudio realizado con el objeto de obtener información sobre la manera como se efectúan la operación y el mantenimiento de piscinas de uso público para establecer las pautas que deben seguirse para dicho fin, de acuerdo con la legislación vigente, y elaborar así una guía para el manejo y control de la calidad del agua en piscinas de uso público, dirigida a todos los responsables de la operación sanitaria de piscinas.

17-34

Fatiga en mezclas asfálticas por flexión debido a cargas cíclicas

Hugo Alexander Rondón Quintana y Fredy Alberto Reyes Lizcano

Análisis de la forma como se ha estudiado el fenómeno de fatiga de mezclas asfálticas cuando se genera por las cargas cíclicas que induce el parque automotor. El alcance del artículo cubre sólo el agrietamiento que experimenta la capa asfáltica por fatiga cuando se genera por flexión. Al final se presenta la evolución de las ecuaciones matemáticas desarrolladas a partir de resultados de estudios teóricos y experimentales, para intentar predecir el fenómeno de fatiga.

35-41

El agua como vehículo de microorganismos patógenos.

Bacteria *Escherichia coli*

Gladys Rocío González Leal

Explicación de las enfermedades de origen hídrico más recurrentes con sus respectivos agentes causantes; definición de microorganismos emergentes, microorganismos oportunistas, grupo coliforme como grupo indicador de contaminación; y presentación de la *Escherichia coli* como la bacteria de origen fecal de mayor impacto en salud pública y algunos factores que influyen en la persistencia de los microorganismos en el agua.

43-46

Unite your corporate links of knowledge and boost the team's impact in the enterprise

Luis Alejandro Zorrilla y Paula Andrea Lago

We discuss how knowledge can become an asset for the enterprise when everybody is engaged in the process of teaching and learning. A case study

Contenido

is presented to illustrate how better solutions are designed when different perspectives and especially when different links of knowledge are joined. No matter how much experience you have, you can always improve a process if given the right guidance.

47-62

Simposio de Economía: “Las fisuras del sistema capitalista”

Conferencias:

La recesión mundial: crítica a la visión ortodoxa

The social environmental consequence of neoliberalism, “La economía medioambiental solvente es una tergiversación de la realidad”.

63-72

ENTREVISTAS

Eduardo Sarmiento Palacio

Michael Perelman

73 / ALCANCE Y POLÍTICAS

Editorial

Quince años del programa de Economía de la ESCUELA

ADA BEATRIZ TORRES ALAYÓN

Directora de la especialización en Economía para Ingenieros de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

beatriz.torres@escuelaing.edu.co

Desde la caída de la cortina de hierro, el sistema económico mundial se ha inclinado hacia el capitalismo de libre mercado como la organización económica y social más apropiada para alcanzar su bienestar. La economía de bienestar, desarrollada tras la gran depresión y hasta el momento de la caída del muro, se ha venido controvirtiendo como opción conveniente en economías capitalistas, principalmente en vías de desarrollo.

Colombia es un país prototipo en las dos experiencias. Se la reconoce como la nación que implementó la economía del bienestar a partir de 1936. Los resultados de dicha experiencia fueron destacados y han quedado en la historia económica nacional como elementos de obligatorio análisis y estudio. Igualmente, ha sido prototipo de la aplicación de las reformas de libre mercado implantadas a principios de la década de los noventa. Los efectos de los dos modelos estimulan el estudio, la discusión y el análisis de las características del capitalismo y de sus dos brazos: el libre mercado y la economía del bienestar.

Ligado al tema del desarrollo teórico que explique las fallas del sistema de mercado, se encuentra el de la enseñanza de la economía. ¿Cómo puede transmitirse y enseñarse la teoría que ha conducido a fracasos económicos y sociales? Interrogantes como éste han impactado cada programa de economía del mundo y han fortalecido la línea de investigación en la enseñanza de la economía. Como resultado de ese marco histórico y del debate académico en torno a tales aspectos, surgió la propuesta de trabajar en un simposio el tema de las fisuras del sistema

capitalista, así como su impacto en la teoría económica y en la enseñanza de ésta.

En medio de esta realidad teórica y política, y con motivo de los quince años de fundación y apertura del programa de Economía de la ESCUELA, se llevó a cabo como actividad central el simposio “Las fisuras del sistema capitalista”. Su objetivo fue generar un escenario que posibilitara el análisis y la reflexión de la teoría económica predominante, al igual que de sus resultados e impacto en la teoría económica y la enseñanza de ésta. Teoría y praxis fueron los elementos debatidos y que dejaron algunas ideas sobre sus consecuencias macroeconómicas y sociales, las que justamente marcan la controversia entre economistas ortodoxos y heterodoxos.

El simposio contó con la presencia de dos invitados especiales: el profesor Michael Perelman, Ph.D. en Economía Agrícola de la Universidad de California (Berkeley), y el profesor Eduardo Sarmiento, Ph.D. en Economía de la Universidad de Minnesota y actual director del Centro de Estudios Económicos de la ESCUELA. Michael Perelman ha sido un economista crítico de la teoría económica predominante. En su trabajo mezcla las visiones histórica y contemporánea de la economía, e integra los aspectos económicos, políticos, sociales, culturales y ambientales. Por su parte, el profesor Sarmiento se ha destacado por ser un crítico del modelo de crecimiento desarrollado en los centros de investigación ortodoxos e implantado en los países de América Latina por los organismos multilaterales. Ambos economistas han favorecido la discusión y

reflexión académica de la teoría e historia del pensamiento económico y han generado propuestas para mejorar su impacto en la sociedad. Desde sus trabajos independientes, han permeado los currículos de formación del economista del siglo XXI.

A lo largo de estos últimos quince años, el programa de Economía de la ESCUELA ha participado de manera destacada en el escenario de enseñanza de esta ciencia y en el de construcción de alternativas teóricas de la economía. En el simposio, durante el cual se abordó el tema de las fisuras del sistema capitalista, se buscó también atender la inquietud de los resultados de inequidad y disminución de bienestar generados por el sistema de libre mercado: el desempleo, la informalidad, la pobreza y la falta de oportunidades. El país ha visto con desconcierto la aplicación de modelos reconocidos como inoperantes en sociedades como la colombiana y que sin explicación alguna han sido impuestos desde el ámbito político, desconociendo la lógica de su perversidad. En tal sentido, el encuentro celebrado fue un escenario de discusión de alta

calidad que invitó a la comunidad académica a fortalecer su actitud crítica y reflexiva en el estudio de la teoría y los modelos económicos.

La esencia del simposio se centró en mostrar la evolución del sistema capitalista desde el siglo XIX hasta nuestros días mediante una serie de actividades académicas, como películas, exposiciones y clases magistrales, con el interés de hacer reflexionar a estudiantes de pregrado y posgrado, egresados y profesores del área, y abrir una discusión sobre el pasado, presente y futuro de este sistema.

Buena vida al programa de Economía de la ESCUELA, en el cual continúan vigentes los vientos de renovación y reflexión en los ámbitos teórico y político de la economía que motivaron su apertura en 1996.

Buena vida para un programa que nació como una opción académica que permitiera reflexionar con seriedad y serenidad sobre la validez de los preceptos de la economía de competencia en la sociedad colombiana.

Guía para el manejo y control de la calidad del agua en piscinas de uso público

A guide to water quality management and control in public swimming pools

JAIRO ALBERTO ROMERO ROJAS¹, YULY ANDREA SÁNCHEZ LONDOÑO²

1. Ingeniero civil, MEEE. Profesor titular de la Escuela Colombiana de Ingeniería. jairo.romero@escuelaing.edu.co.

2. Ingeniera civil, especialista en Saneamiento Ambiental y magíster en Ingeniería Civil de la Escuela Colombiana de Ingeniería. yuly.sanchez@escuelaing.edu.co.

Recibido: 06/01/2011 Aceptado: 08/02/2011

Disponible en <http://www.escuelaing.edu.co/revista.htm>

Resumen

En este artículo se presentan los resultados principales del estudio realizado con el objeto de obtener información sobre la manera como se efectúan la operación y el mantenimiento de piscinas de uso público para establecer las pautas que deben seguirse para dicho fin, de acuerdo con la legislación vigente, y elaborar así una guía para el manejo y control de la calidad del agua en piscinas de uso público, dirigida a todos los responsables de la operación sanitaria de piscinas (1).

Palabras claves: normatividad en piscinas en Colombia, calidad del agua en piscinas, contaminación del agua en piscinas.

Abstract

This article summarizes the main findings in the study on the operation and maintenance of swimming pools, for establishing the requirements which must be satisfied for such purpose according to the current standards, and elaborating a guide to water quality management and control in public swimming pools to help people in charge of the sanitary operation of swimming pools.

Keywords: regulation of swimming pools in Colombia, water quality in swimming pools, water pollution in swimming pools.

INTRODUCCIÓN

Las piscinas requieren operación y mantenimiento permanentes, así como control de la calidad del agua, para asegurar la salud de los usuarios y la estética del líquido. La calidad sanitaria del agua es requisito indispensable para prevenir el contagio de enfermedades transmisibles por exposición al agua, como otitis, dermatitis, conjuntivitis, gastroenteritis, hongos en la piel y amibiasis⁽⁴⁾.

Existen aspectos económicos, sociales, ambientales y técnicos de incidencia sobre la calidad del agua de las piscinas, que pueden afectar la salud del bañista y constituyen factores de control en la operación y el mantenimiento apropiados de una piscina. Entre dichos factores se pueden mencionar los siguientes:

- Costos elevados de operación y tratamiento del agua que limitan el mantenimiento y la condición óptima de las piscinas.
- Falta de conocimiento de los bañistas sobre las condiciones sanitarias de uso de las piscinas.
- Ingreso a la piscina con heridas cutáneas y escoriaciones de la mucosa.
- Abstención de aseo en la ducha antes de ingresar a la piscina.
- Orinarse dentro de la piscina.
- Ingreso de bebés y de animales a la piscina.
- Carencia de una autoridad competente y suficiente que controle y vigile la calidad del agua en piscinas públicas.
- Fallas en el diseño y la construcción de las piscinas.
- Dosificación deficiente de químicos.
- Mantenimiento inadecuado de las instalaciones de la piscina.
- Ausencia de supervisión del almacenamiento, calidad y vigencia de químicos.
- Carencia de personal especializado en el mantenimiento y operación de las piscinas.
- Inexistencia de equipos e implementos de tratamiento del agua.
- Desconocimiento de las normas que regulan la calidad del agua en las piscinas.

En Colombia, las piscinas deben satisfacer las normas de calidad del agua de la Resolución 1618 del 7 de mayo de 2010⁽⁸⁾, expedida por el Ministerio de la Protección Social, por la cual se reglamenta parcialmente el Decreto 2171 de 2009⁽¹⁰⁾, el cual tiene por objeto

establecer las características físicas, químicas y microbiológicas que debe cumplir el agua contenida en estanques de piscinas y estructuras similares de recirculación, la frecuencia del control y la vigilancia de la calidad del agua que deben realizar el responsable y la autoridad sanitaria, así como el instrumento básico de la calidad de ésta. Adicionalmente, ciudades como Cali, Medellín y Bogotá tienen normas específicas (tabla 1^(2, 8, 11, 12)).

METODOLOGÍA

Se analizaron 30 muestras de 10 piscinas de uso público, climatizadas y al aire libre en Cundinamarca: una en Cajicá (piscina 1), tres en Bogotá (piscinas 2, 3 y 4) y seis en Pacho (piscinas 5, 6, 7, 8, 9 y 10), con un intervalo de muestreo por piscina de quince días durante un periodo de mes y medio, entre junio y julio de 2010, meses de temporada alta de bañistas por ser de vacaciones estudiantiles.

Con base en los análisis de pH, temperatura, transparencia, color, material flotante, olor, turbiedad, conductividad, AUV_{254} , alcalinidad, dureza, cloruros, cloro residual, índice de saturación de Langelier, coliformes totales, coliformes fecales, heterótrofos (aerobios totales) y *Pseudomona aeruginosa*, se evalúa el cumplimiento de las normas de calidad del agua de las piscinas. Paralelamente con la toma de muestras se realizan encuestas a operarios y bañistas para hacer un diagnóstico físico, técnico, de manejo y de utilización de las piscinas, para evaluar el conocimiento y entrenamiento que los operarios tienen de las piscinas que operan, de las normas de control sanitario, del tratamiento efectuado, y de la cultura de los bañistas en el uso de la piscina.

In situ se midieron los parámetros físicos descritos en la tabla 2 y en laboratorio los descritos en la tabla 3. Los ensayos microbiológicos se realizaron de acuerdo con las técnicas indicadas en la tabla 4.

Tabla 1
Normas colombianas de calidad del agua en piscinas

TIPO	PARÁMETROS	COLOMBIA				
		SANTIAGO DE CALI	BOGOTÁ, D.C	COLOMBIA	MEDELLÍN	
QUÍMICOS	Cloro residual libre	0,5 mg/L - 1,5 mg/L por el método del DPD	0,6 mg/L - 1,0 mg/L	1 - 3 mg/L Cl ₂	0,3 mg/L - 2,0 mg/L	
	Cloro total	1,0 mg/L y 2,0 mg/L, siempre y cuando el cloro residual libre sea del 80%				
	Cloro combinado			< 0,3 mg/L Cl ₂		
	Cloraminas					
	Bromo libre			1 - 2 mg/L Br ₂		
	Bromo total			2 - 2,5 mg/L Br ₂		
	Bromo	1,0 - 3,0 mg/L y ser valorado IN SITU.				
	Cobre	< 1,0 mg/L		< 1,0 mg/L	1,0 mg/L	
	Cadmio				0,003 mg/L	
	Calcio				60 mg/L	
	Ag	< 0,1 mg/L		< 0,1 mg/L		
	Fe	0,3 mg/L		< 0,3 mg/L	0,3 mg/L	
	Ácido isocianúrico (H, C, N, O ₃)	<=100 mg/L		< 100 mg/L		
	Ácido cianúrico	< 100 mg/L CN-		< 100 mg/L C3H3N3O3		
	Aluminio	0,5 mg/L		< 0,2 mg/L	0,2 mg/L	
	Alcalinidad total	30 - 150 mg/L CaCO ₃	50 - 100 mg/L CaCO ₃	< 140 mg/L CaCO ₃	50 - 200 mg/L CaCO ₃	
	Cloruros	< 500 mg/L Na Cl	300 mg/L Cl ⁻		250 mg/L Cl ⁻	
	Tensoactivos / Algicidas bactericidas	0,5 mg/L SAAM				
	Dureza total	<200 mg/L CaCO ₃		< 400 mg/L CaCO ₃	30 - 300 CaCO ₃	
	Nitratos				10 mg/L	
	Nitritos				0,1 mg/L	
	Sulfatos				250 mg/L	
	Amonio			< 1,5 mg/L NH ₄		
	Arsénico				0,01 mg/L	
	Cianuros				0,05 mg/L	
	COT				5 mg/L	
	Bario				0,7 mg/L	
	Hg				0,001 mg/L	
	ISL			-0,5 a +0,5	0,001 mg/L	
	TIPO	PARÁMETROS	COLOMBIA			
			SANTIAGO DE CALI	BOGOTÁ, D.C	COLOMBIA	MEDELLÍN
	QUÍMICOS	Plomo				0,01 mg/L
		Selenio				0,01 mg/L
Magnesio					36 mg/L	
Manganeso					0,1 mg/L	
Molibdeno					0,07 mg/L	
Níquel					0,2 mg/L	
Zn					3 mg/L	
Fluoruros					1 mg/L	
Trihalometanos totales					0,2 mg/L	
Hidrocarburos aromáticos						
Policíclicos					0,01 mg/L	
Cr +6					0,05 mg/L	
Fosfato					0,5 mg/L	
FÍSICOS		POR			min 700 mV	
	pH	7,0 - 7,6	7,0 - 7,8	7,0 - 8,0	7,2 - 8,0	
	Turbiedad	2 UNT	10 UNT	2,0	2 UNF	
	Conductividad			Hasta 2400 μS / cm		
	Color	15 UPC		Aceptable	15 UPC	
	Olor y sabor	No molestos		Aceptable	Aceptable	
	Sólidos disueltos	1500 mg/L				
	Sustancias flotantes	Ausentes		Ausente		
	Grasas y aceites	10 mg/L	Ausentes	Ausencia		
	Transparencia			Fondo visible		
MICROBIOLÓGICOS	<i>Escherichia coli</i>		0 UFC / 100 cm ³	0 UFC / 100 cm ³	0 UFC / 100 cm ³	
	Coliformes totales	0 UFC / 100 mL	<1 UFC / 100 cm ³		0 UFC / 100 cm ³	
	Coliformes fecales	0 UFC / 100 mL	<1 UFC / 100 cm ³	0 UFC / 100 cm ³		
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0 UFC / 100 mL		0 UFC / 100 cm ³		
	Streptococos fecales	0 UFC / 100 mL				
	Heterotrófos (mesófilos aerobios)	200 UFC / 100 mL		<200 UFC / cm ³	100 UFC / 100 cm ³	
	<i>Giardia</i>			0 Quistes/1000 cm ³	0 Quistes	
<i>Cryptosporidium parvum</i>			0 Quistes/1000 cm ³	0 Quistes		

Tabla 2
Parámetros físicos medidos *in situ*

Parámetro	Unidad	Equipo	Método de análisis
Temperatura	°C	Termómetro de mercurio y digital	SM. 2550 B ⁽³⁾
pH	Unidades de pH	Kit colorimétrico	Visual
Transparencia	Aceptable	-	Visual
Color	Aceptable	-	Visual
Material flotante	Ausente	-	Visual
Olor	Aceptable	-	Olfativo

Tabla 3
Parámetros físico - químicos medidos en laboratorio

Parámetro	Unidad	Equipo	Método de análisis	Standard Methods ⁽³⁾
pH	-	Medidor de pH	Electrométrico	4500-H ⁺ B
Turbiedad	UNT	Turbidímetro	Nefelométrico	2130 B
Conductividad	S/cm	Conductímetro	Conductimétrico	2520 B
AUV	cm-1	Espectrofotómetro	AUV ₂₅₄	5910 B
Alcalinidad total	mg/L CaCO ₃	Titulación	Titulación	2320 B
Dureza	mg/L CaCO ₃	Titulación	EDTA	2340 C
Cloruros	mg/L Cl ⁻	Titulación	Argentométrico	4500-Cl ⁻ B
Cloro residual	(mg/L-Cl ₂)	Titulación	DPD	4500-Cl F
Índice de saturación de Langelier (ISL)	-	-	Cálculo	-

Tabla 4
Métodos de ensayo microbiológico

Parámetro	Unidad	Método	Medio de cultivo	Periodo de incubación	Color de colonias
Coliformes totales	UFC/100 mL	Filtración por membrana	m - ColiBlue24	24 ± 4 horas a 35 °C ± 5 °C	Rojo
Coliformes fecales (<i>Escherichia coli</i>)	UFC/100 mL		m - ColiBlue24	24 ± 4 horas a 35 °C ± 5 °C	Azul
Heterótrofos aerobios totales	UFC/100 mL		TGE	24 - 48 horas a 35 °C	Beige
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	UFC/mL		<i>Pseudomonas selective</i>	36 ± 2 °C durante 44 ± 4 h	Azul-Verde

RESULTADOS⁽¹⁷⁾

Ensayos físico-químicos

En las piscinas muestreadas los operarios realizan por lo menos una vez al día una inspección visual del color del agua, cumpliendo con la frecuencia mínima establecida en la Resolución 1618 de 2010⁽⁸⁾. En nueve de las diez piscinas se controla material flotante por lo menos una vez al día, cumpliendo con la frecuencia mínima establecida en la resolución nacional. Con respecto a transparencia y olor, los operarios cumplen con lo exigido en la norma.

El 80% del total de las 30 muestras analizadas cumple con la norma incluida en la Resolución 1618 de 2010⁽⁸⁾ para color del agua, un 73% satisface el criterio para transparencia, 100% el olor y un 97% el requisito para material flotante.

El pH se mide como mínimo una vez al día. La Resolución 1618 de 2010 establece una frecuencia mínima de una vez a la semana, la cual es indudablemente deficiente si se tiene en cuenta el efecto del pH sobre la eficiencia de la cloración⁽⁹⁾. En la figura 1 se muestra la probabilidad de ocurrencia de los valores de pH ajustados a una distribución normal, con un valor promedio de 7,4 y una desviación estándar de 0,5. Con una frecuencia del 20% los valores observados son inferiores a 7,0 y con una frecuencia del 10% estos valores son superiores a 8,0. Sólo un 70% de las muestras cumple con la norma para pH, pH entre 7 y 8.

Los operarios de piscinas climatizadas (piscinas 1, 2, 3, 4) miden la temperatura dos y tres veces al día; en las piscinas al aire libre (piscinas 5, 6, 7, 8, 9, 10) no se mide dicho parámetro. La temperatura debe medirse mínimo una vez a la semana para calcular el índice de Langelier. En los muestreos realizados se observó que la temperatura para las piscinas climatizadas varía entre 28 y 33 °C, y en las piscinas al aire libre oscila entre 20 y 23 °C.

Ningún operario conoce el límite para el potencial de oxidación-reducción (POR), ni la metodología de medida.

En las piscinas 5, 6, 7, 8, 9 y 10 no se determina ni se conocen los límites para conductividad. Solamente dos de los muestreos sobrepasan el límite de conductividad de 2400 µS/cm, el cual se cumple con una probabilidad del 98%.

El límite requerido en la norma para turbiedad sólo se conoce en dos de las piscinas muestreadas. Solamente dos de los muestreos superan el límite establecido de 2 UNT, el cual se cumple con una probabilidad del 95%.

El valor de AUV, con un 95% de probabilidad, es menor de 0,44/cm, valor que se puede considerar indicador de una concentración de COT del orden de 22 mg/L - C⁽⁹⁾.

En todas las piscinas se mide residual de cloro libre todos los días. En la figura 2 se muestran los resultados de cloro libre. Se observa que no se cumple permanentemente el rango exigido de cloro libre de 1,0

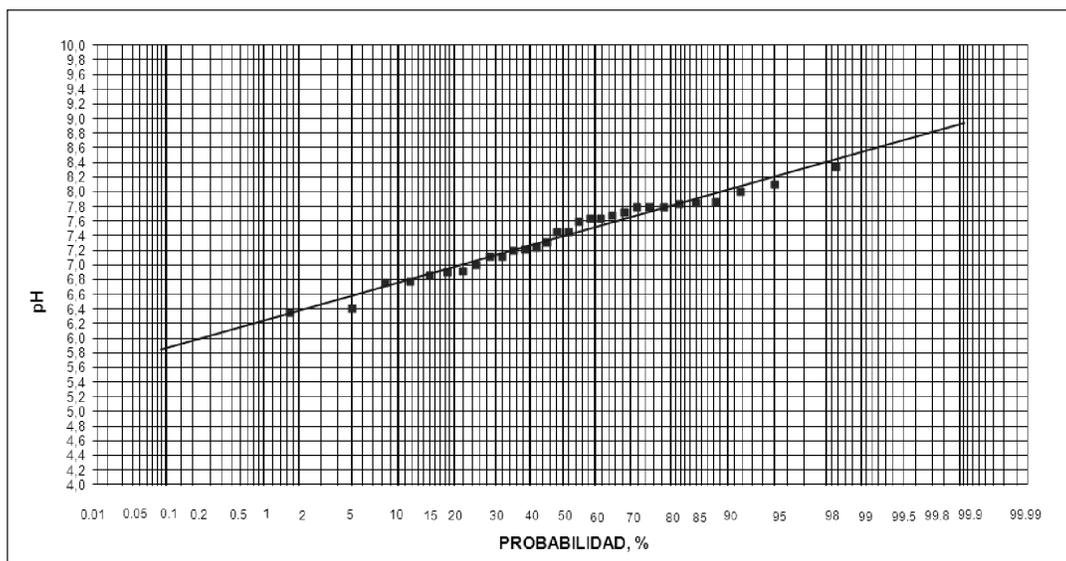


Figura 1. Probabilidad de ocurrencia de pH.

a 3,0 mg/L. El límite establecido se cumple con una probabilidad del 54%.

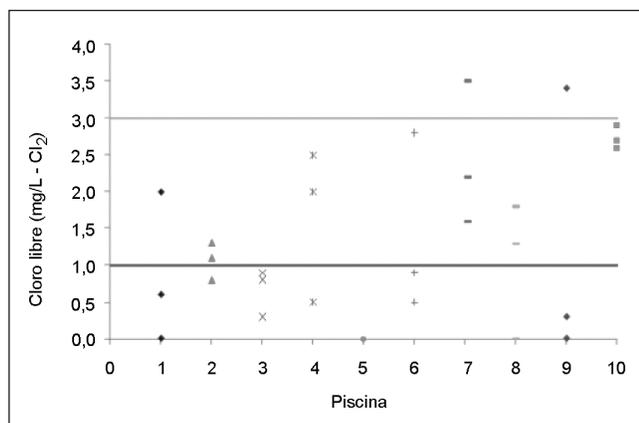


Figura 2. Resultados de cloro libre.

El control del residual de cloro total no se exige en la normativa nacional, pero algunas piscinas, como la 1, la 2 y la 3, lo miden. El valor de cloro total es necesario para calcular el residual de cloro combinado. Se observa que la mayoría de las piscinas no cumplen el límite de 0,3 mg/L-Cl₂ para cloro combinado.

Solamente en una piscina (piscina 3) se determina alcalinidad y dureza con la frecuencia exigida por la resolución nacional. Dos de los muestreos no cumplen con el límite de alcalinidad, de 140 mg/L - CaCO₃, el cual se cumple, por tanto, con un 92% de probabilidad.

Las piscinas 1, 2, 3 y 4 no cumplen el límite exigido de dureza de 400 mg/L - CaCO₃, debido, probablemente, al uso en estas piscinas de hipoclorito de calcio como desinfectante.

La normativa nacional no exige control ni límite para cloruros, pero Medellín, Bogotá y Cali sí los exigen: Cali < 500 mg/L - NaCl; Bogotá < 300 mg/L - Cl, y Medellín < 250 mg/L- Cl. La mayoría de los valores observados son inferiores a 400 mg/L-Cl, excepto la piscina 3, en que los cloruros fueron del orden de los 800 mg/L-Cl. En la totalidad de las piscinas se observan valores de cloruros inferiores a 1000 mg/L - Cl, valor que se puede considerar aceptable⁽⁹⁾.

Con el fin de conocer las características corrosivas o incrustantes del agua de una piscina, se calcula el índice de saturación de Langelier (ISL), cuyo valor debe estar entre -0,5 y +0,5. Los cálculos de ISL indican que la piscina 3 contiene agua con tendencia incrustante, con

un ISL > 0,5; y las piscinas 4, 5, 7 y 9 presentan agua con tendencias corrosivas, con un ISL < -0,5. Las piscinas 1, 2, 6, 8 y 10 presentan agua estable, con un ISL entre +0,5 y -0,5.

Análisis microbiológicos

En la mayoría de las piscinas no se realizan los muestreos con la frecuencia requerida, ni se tiene conocimiento de los límites exigidos por la Resolución 1618 de 2010⁽⁸⁾.

- **Coliformes totales.** El 43% de las muestras analizadas indica resultados positivos de coliformes totales, 1 - 270 UFC/100 mL. Las piscinas 7 y 10 no presentan coliformes totales. Aunque la Resolución 1618 de 2010 no incluye límite para coliformes totales, es recomendable que el resultado sea siempre de 0 UFC/100 mL.
- **Coliformes fecales.** El 3% de las muestras analizadas, una de las 30, muestra resultado positivo de coliformes fecales, 4 UFC/100 mL; por tanto, el 97% del tiempo se cumple con el estándar requerido de 0 UFC/100 mL.
- **Pseudomona aeruginosa.** Solamente una de las 30 muestras analizadas da resultado positivo, 3 UFC/100 mL, de *Pseudomona aeruginosa*; por tanto, el 97% del tiempo se cumple con el estándar requerido de 0 UFC/100 mL.
- **Mesófilos aerobios.** Todas las muestras analizadas satisfacen el límite requerido de 0 UFC/100 mL.
- **Correlación entre cloro libre y parámetros microbiológicos.** La correlación entre cloro libre contra coliformes totales, coliformes fecales y *Pseudomona aeruginosa*, para las muestras que no satisfacen la calidad microbiológica de 0 UFC/100 mL para cada uno de los tres parámetros, se presenta más adelante (tabla 5 y figura 3). Se observa que para mantener un objetivo de calidad microbiológica de 0 UFC/100 mL de coliformes totales es recomendable un residual de cloro libre mayor de 1,5 mg/L - Cl₂. Además, la muestra con resultados de coliformes fecales y *Pseudomona aeruginosa* inaceptables corresponde a un residual de cloro libre igual a 0,0 mg/L - Cl₂.

Tabla 5
Correlación entre CL, CT, CF y PA para muestras que no satisfacen la norma

Piscina	1	2	3	4	5	6	8	9					
Muestra	3	1	3	1	1	1	2	3	1	2	2	1	2
Cloro libre (CL), mg/L	0,0	0,8	1,1	0,3	0,5	0,0	0,0	0,0	0,9	0,5	0,0	0,0	0,3
Coliformes totales (CT), UFC/100 mL	2	1	3	16	3	1	24	8	2	270	260	48	60
Coliformes fecales (CF), UFC/100 mL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0
<i>Pseudomona aeruginosa</i> (PA), UFC/ mL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0

Requisitos sanitarios para bañistas

De acuerdo con la norma nacional e internacional para utilizar piscinas de uso público, los bañistas deben cumplir con los siguientes requerimientos:

- Vestir traje de baño adecuado y apropiado⁽¹²⁾.
- Utilizar calzado específico para piscinas, como sandalias o chancletas⁽⁵⁾.
- Usar gorro de baño^(5,6).
- Ducharse antes de ingresar a la piscina para eliminar gérmenes y partículas (cremas, pelos, etc.)^(2, 5, 6, 11, 12).
- Usar lavapiés al ingresar a la piscina⁽¹²⁾.
- No ingresar alimentos, ni beber o fumar en el área de piscina^(2, 5, 6, 12).
- No meterse a la piscina con heridas, laceraciones o infecciones de la piel^(2, 11, 12).
- No entrar con animales o mascotas^(5, 6, 12).
- No ingresar a la zona de baño con ropa o calzado de calle^(5, 11).
- No arrojar desperdicios o basuras en la piscina⁽⁵⁾.
- Tener en cuenta que el público, espectadores, visitantes o acompañantes sólo podrán entrar a las zonas que les sean destinadas, utilizando accesos específicos^(5, 7).
- No acceder a la zona de baño si se padecen enferme-

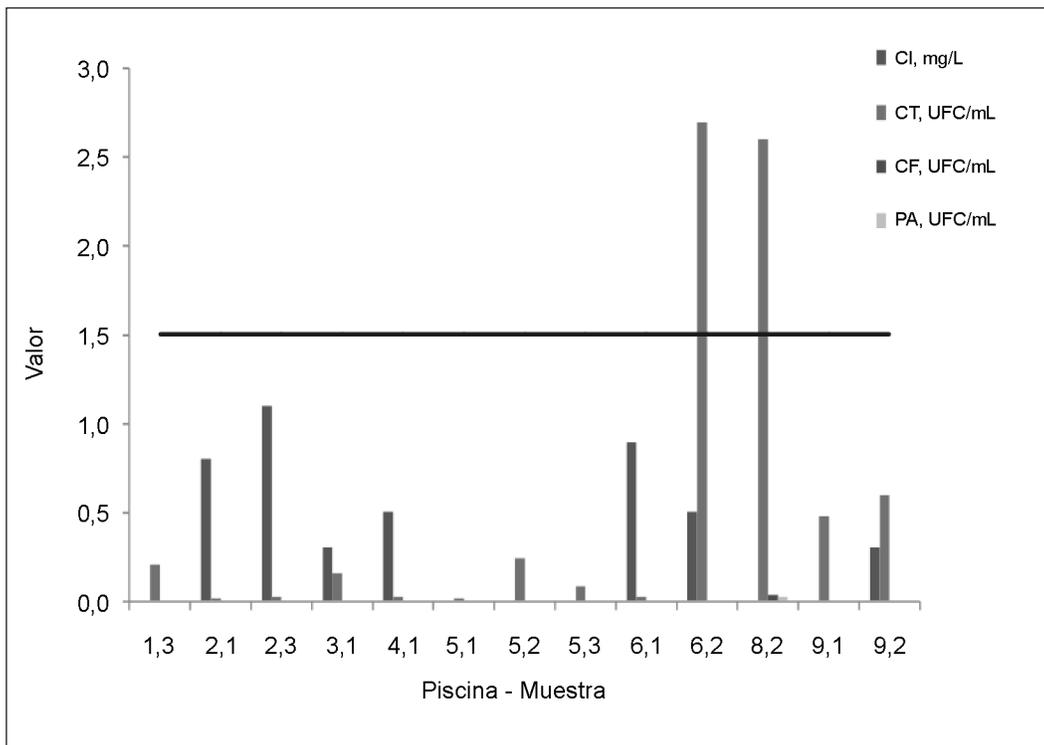


Figura 3. Correlación entre CL, CT, CF y PA para muestras que no satisfacen la norma.

dades contagiosas de transmisión hídrica o dérmica^(5, 6).

- No sobrepasar el aforo de usuarios máximo⁽⁶⁾.

En la *Guía para el manejo y control de la calidad del agua en piscinas de uso público*, publicada por la Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería⁽¹⁴⁾, se indican los requerimientos básicos para la operación y el mantenimiento de las piscinas, de acuerdo con la normatividad vigente y para satisfacer el propósito fundamental de asegurar la salud de los bañistas y la calidad estética de la piscina.

CONCLUSIONES

- En todas las piscinas evaluadas se satisface la frecuencia mínima establecida en la Resolución 1618 de 2010 para control de pH, temperatura, color, material flotante, transparencia y olor.
- La mayoría de los operarios no conocen la norma que establece los límites de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos para control de piscinas.
- Las piscinas no cuentan con los elementos necesarios para realizar los ensayos *in situ* de alcalinidad, dureza, turbiedad y potencial de oxidación - reducción (POR).
- La norma para pH (7,0 a 8,0) se cumple con una probabilidad del 70%.
- La temperatura en las piscinas climatizadas oscila entre 28 y 33 °C; en las piscinas al aire libre varía entre 20 y 23 °C.
- Los valores de conductividad observados cumplen con el límite exigido en la Resolución 1618 de 2010 de 2400 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con un 98% de probabilidad.
- Las piscinas analizadas cumplen con el límite establecido de turbiedad de 2 UNT, con una probabilidad del 95%.
- El valor de AUV, con un 95% de probabilidad, es menor de 0,44 cm^{-1} , valor que se puede considerar indicador de una concentración de COT del orden de 22 $\text{mg}/\text{L} - \text{C}$.
- El límite establecido de 140 mg/L para alcalinidad se cumple con un 92% de probabilidad.
- El límite establecido de 1 a 3 $\text{mg}/\text{L} - \text{Cl}_2$ para cloro libre se cumple solamente con una probabilidad del 54%.
- El límite establecido de 0,3 $\text{mg}/\text{L} - \text{Cl}_2$ de cloro combinado se excede con una probabilidad del 80%, lo que indica que la mayoría de las piscinas no cumplen con el valor exigido.
- El límite establecido para dureza, 400 $\text{mg}/\text{L} - \text{CaCO}_3$, se sobrepasa con una probabilidad del 30%.
- En la totalidad de las piscinas se observan valores de cloruros inferiores a 1000 $\text{mg}/\text{L} - \text{Cl}$, valor que se puede considerar aceptable para la mayor parte de los casos⁽⁹⁾.
- Una de las piscinas analizadas presenta agua con tendencia incrustante con un ISL > 0,5; otras cuatro poseen agua con tendencias corrosivas con un ISL < -0,5 y las cinco restantes contienen agua estable con un ISL entre +0,5 y -0,5.
- Solamente una de las 30 muestras analizadas mostró un resultado positivo de coliformes fecales de 4 UFC/100 mL.
- Apenas una de las 30 muestras analizadas dio un resultado positivo de *Pseudomonas aeruginosa* de 3 UFC/100 mL, organismo patógeno causante de otitis.
- Todos los conteos realizados de mesófilos aerobios satisfacen el límite establecido por la Resolución 1618 de 2010 de menos de 200 UFC/mL.
- La muestra con resultados inaceptables de coliformes fecales y *Pseudomonas aeruginosa* corresponde a una piscina con residual de cloro libre igual a 0,0 $\text{mg}/\text{L} - \text{Cl}_2$.
- Se observa que para obtener un objetivo de calidad microbiológica de 0 UFC/100mL de coliformes totales es necesario mantener un residual de cloro libre mayor de 1,5 $\text{mg}/\text{L} - \text{Cl}_2$.
- El 60% de las piscinas no tiene libro de registro sanitario.
- Las diez piscinas evaluadas cuentan con ducha de preinmersión, sumidero en el fondo de la piscina, salida para distribución y llenado con agua filtrada, conexión para la toma de agua para la limpieza de fondo, accesorios para la limpieza y barrido de fondo, equipo de filtrado y depuración del agua, desnatador y escaleras para el ingreso a la piscina.
- El 50% de las piscinas no cuenta con lavapiés.

REFERENCIAS

- (1) Sánchez Londoño, Yuly (2011, febrero). Tesis de grado "Guía para el manejo y control de la calidad del agua en piscinas de uso público". Escuela Colombiana de Ingeniería.
- (2) Alcaldía de Medellín (2007). Secretaría de Salud, Decreto 1589 del 18 de septiembre de 2007, por medio del cual se modifica parcialmente el Decreto 00398 del 6 de marzo de 2007,

que reglamentó la vigilancia y el control de las piscinas de uso público y de uso restringido, y creó el programa de vigilancia y control de piscinas.

(3) APHA, AWWA, WEF (2005). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 21st edition. Washington, DC.: American Public Health Association.

(4) Bayona Moncada, Hernando (2004). *Operación y manejo de piscinas*. Bogotá: Lemoine Editores.

(5) Consejo de Salud y Servicios Sanitarios de España (2003). Decreto 26 del 3 de abril de 2003, por el que se aprueba el reglamento técnico sanitario de piscinas de uso colectivo, Comunidad Autónoma de Asturias, 2003. Disponible en internet: <http://www.atagua.es/documentacion.pdf>.

(6) Consejo de Sanidad de España (2008). Decreto 72 del 24 de julio de 2008, por el que se aprueba el reglamento sanitario de piscinas de uso colectivo. Comunidad Autónoma de Cantabria, 2008. Disponible en internet: <http://www.msc.es/profesionales/saludPublica/saludAmbLaboral/calidadAguas/piscinas/pdf/CantabriaDecretoPisc2009.pdf>.

(7) Consejería de Sanidad y Servicios Sociales de España (1998). Decreto 80 del 14 de mayo de 1998, por el cual se regulan las condiciones higiénico sanitarias de piscinas de uso colectivo, Comunidad de Madrid, 1998. Disponible en internet: http://www.enformate.org/imagenes/cursos/Piscinas-de-la-Comunidad-e-Madrid-D-80-1998_71.pdf.

(8) Ministerio de Protección Social de Colombia (2010). Resolución 1618 del 7 de mayo de 2010, por la cual se reglamenta parcialmente el Decreto 2171 de 2009. Bogotá.

(9) Romero Rojas, Jairo Alberto (2002). *Calidad del agua*, 2.ª ed. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.

(10) Ministerio de la Protección Social de Colombia (2009). Decreto 2171 del 10 de junio de 2009, por medio del cual se señalan medidas aplicables a las piscinas y estructuras similares de uso colectivo y de propiedad privada unihabitacional y se dictan otras disposiciones. Bogotá.

(11) Secretaría Distrital de Salud de Bogotá (1991). Resolución 2191 del 4 de octubre de 1991, por la cual se reglamenta la vigilancia y el control de piscinas. Bogotá.

(12) Secretaría de Salud Pública Municipal de Cali (2006). Resolución 4212.31.0041 del 2 de marzo de 2006, por medio de la cual se establecen las normas y disposiciones sanitarias para la vigilancia y control de aguas y establecimientos de uso recreativo. Municipio de Santiago de Cali.

(13) *Water Science & Technology* (2009). Vol. 60, N.º 12. IWA Publishing, ISSN 0273 - 1223, p. 3101.

(14) Sánchez Londoño, Yuly (2011). *Guía para el manejo y control de la calidad del agua en piscinas de uso público*. Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.

Fatiga en mezclas asfálticas por flexión debido a cargas cíclicas

Fatigue of asphalt mixtures by bending due to load cycles

HUGO ALEXANDER RONDÓN QUINTANA¹, FREDY ALBERTO REYES LIZCANO²

1. Ing., M.Sc., Ph.D. Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. harondong@udistrital.edu.co.

2. Ing., M.Sc., Ph.D. Departamento de Ingeniería Civil. Pontificia Universidad Javeriana. freddy.reyes@javeriana.edu.co.

Recibido: 15/01/2011 Aceptado: 10/02/2011

Disponible en <http://www.escuelaing.edu.co/revista.htm>

Resumen

Los vehículos que circulan sobre una estructura de pavimento inducen ciclos de carga y descarga que generan deformaciones recuperables (resilientes) y permanentes (plásticas) dentro de las capas estructurales de éste. La ingeniería de pavimentos ha venido desarrollando estudios desde la década de los sesenta, con el fin de comprender el comportamiento viscoelastoplástico que experimentan mezclas asfálticas cuando conforman capas asfálticas de rodadura o base en estructuras flexibles. Lo anterior con el propósito de evaluar y entender cómo se generan los principales mecanismos de daño que se procuran controlar en los métodos de diseño de pavimentos flexibles, para el caso de mezclas asfálticas: ahuellamiento y fatiga.

En este artículo se presenta la forma como se ha estudiado el fenómeno de fatiga de mezclas asfálticas cuando se genera por las cargas cíclicas que induce el parque automotor. El alcance del artículo cubre sólo el agrietamiento que experimenta la capa asfáltica por fatiga cuando se genera por flexión. Al final se presenta la evolución de las ecuaciones matemáticas desarrolladas a partir de resultados de estudios teóricos y experimentales, para intentar predecir el fenómeno de fatiga.

Palabras claves: estado del conocimiento, fatiga, mezclas asfálticas, pavimentos flexibles.

Abstract

When vehicles move along a pavement structure, they induce load cycles that generate resilient and permanent deformations inside the pavement layers. Since the 60's, pavement engineering has developed studies to understand the visco-elasto-plastic behavior of asphalt mixtures on asphalt layers of flexible pavements. These studies have been performed to understand two phenomena that influence the design methods of flexible pavements: rutting and fatigue. The state of the art of fatigue phenomena in asphalt mixtures is presented in this paper when is caused by repeated loads. The scope of the paper covers the fatigue phenomena when it is generated by bending of asphalt layer. The mathematical equations needed to predict fatigue in asphalt mixtures are listed in the literature.

Keywords: state of the art, fatigue, permanent deformation, asphalt mixtures, flexible pavements.

INTRODUCCIÓN

El fenómeno de fatiga es uno de los principales mecanismos de daño de mezclas asfálticas en servicio [1-4]. Ocurre en las capas ligadas del pavimento, y para el caso de estructuras flexibles, una de las formas como se presenta es cuando se generan valores elevados de deformación a tracción en la zona inferior de la capa asfáltica, producto de las cargas impuestas por el parque automotor (cargas repetitivas). El paso continuo de vehículos hace que la capa asfáltica se flexione, generando esfuerzos de tensión en el extremo inferior de ésta. Tal repetición de carga hace que la mezcla asfáltica pierda rigidez y origina la aparición de deformaciones plásticas a tracción que, a su vez, conducen a la formación de microfisuras. Ante la continuidad de las repeticiones de carga y la disminución de la rigidez se produce la coalescencia de las microfisuras que lleva a la formación de una fisura visible (macrofisura) a nivel de la rasante.

Otra forma de ocurrencia del fenómeno de agrietamiento por carga se presenta cuando se generan esfuerzos y deformaciones de tensión muy altos en las zonas adyacentes o vecinas a las llantas de los vehículos cuando éstos circulan sobre la capa asfáltica. Dichas deformaciones de tensión generan grietas que se propagan de “arriba hacia abajo” en la capa asfáltica, fenómeno denominado “top-down cracking (TDC)” en la bibliografía de referencia. Este fenómeno de agrietamiento tipo TDC también se produce por efecto de endurecimiento del ligante asfáltico cuando las mezclas asfálticas envejecen por efectos del medio ambiente. Existe otro tipo de fatiga tipo TDC que se origina por fenómenos térmicos: agrietamiento por bajas temperaturas y fatiga térmica. En el agrietamiento por baja temperatura el esfuerzo interno que se induce genera fisuración cuando dicho esfuerzo es superior a la resistencia de la mezcla. Para el caso de la fatiga térmica, son los gradientes de temperatura los que producen cambios en los esfuerzos internos, y si dichos esfuerzos son mayores que la resistencia de la mezcla, éstos generan el agrietamiento. La grieta que se forma por ambos fenómenos se observa por lo general en el sentido transversal a la dirección de los vehículos. El primero de estos fenómenos ocurre regularmente con temperaturas inferiores a $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$, mientras que la fatiga térmica tiende a presentarse entre -7 y $21\text{ }^{\circ}\text{C}$ [5]. Estudios realizados para evaluar estos dos fenómenos pueden consultarse en [6-10].

Si el fenómeno de fatiga se debe a cargas que generan

flexión de la capa asfáltica, las macrofisuras se originan en el extremo inferior de dicha capa (zona donde el esfuerzo de tensión es mayor) y se propagan de manera ascendente hacia la superficie del pavimento, donde se reflejan como fisuras paralelas direccionadas en el sentido longitudinal de la vía, las cuales ante la repetición de las cargas de tránsito se propagan formando piezas angulares que desarrollan un aspecto parecido a la piel de cocodrilo (figura 1). Si este fenómeno ocurre por temperatura, el efecto de propagación de fisuras se produce de modo contrario, las microfisuras se generan por lo regular transversalmente a la vía desde la rasante y se extiende hacia la fibra inferior de la capa asfáltica [11]. Con el fin de evitar agrietamiento por carga, Epps y Monismith [12], Monismith y McLean [13] y Monismith et ál. [14] han sugerido como límites de deformación a tracción en la capa asfáltica y compresión en la subrasante, $70\text{ }\mu\epsilon$ y $200\text{ }\mu\epsilon$, respectivamente.

Según Rodríguez [15] y Di Benedetto et ál. [16], usualmente se reconocen dos fases de daño durante el



Figura 1. Agrietamiento tipo piel de cocodrilo.

fenómeno de agrietamiento por fatiga por flexión en la capa asfáltica. La primera fase, denominada fase de iniciación, corresponde a la aparición y propagación de una red de microfisuras, las cuales se extienden de manera uniforme en la mezcla asfáltica, generando disminución de la rigidez de ésta. Durante la segunda fase, llamada fase de propagación, se presenta la unión de las microfisuras y, por tanto, la aparición de fisuras de mayor tamaño (macrocrack) que se propagan dentro del material. La aparición y la velocidad de avance de cada una de las fases de daño dependen de la rigidez de

la mezcla asfáltica. En una mezcla asfáltica muy rígida la aparición de la primera fase de daño es tardía, pero una vez que ésta se ha iniciado, la aparición y el avance de la segunda fase de daño ocurren rápidamente. En una mezcla de baja rigidez sucede el caso contrario, pues aunque la primera fase del daño por fatiga empieza rápidamente, la aparición y el avance de la segunda fase se presentan de manera muy lenta.

En Colombia son escasas las investigaciones que se han hecho sobre el fenómeno de fatiga en mezclas asfálticas debido principalmente a la falta de equipos apropiados para llevar a cabo mediciones en campo y en laboratorio, y al escaso presupuesto destinado para actividades de investigación. Esta situación explica la falta de conocimiento sobre el tema y la inexistencia de un modelo propio que caracterice el comportamiento a la fatiga a partir de las propiedades (mecánicas, químicas, reológicas y físicas) de los materiales, las condiciones del medio ambiente y el comportamiento del tráfico.

En este artículo se presenta la forma como se ha estudiado el fenómeno de fatiga cuando ocurre por las cargas repetidas vehiculares en mezclas asfálticas sometidas a flexión (agrietamiento desde la fibra inferior de la capa asfáltica hasta la superficie) y se discuten los factores que influyen en dicho fenómeno. Así mismo, se muestra la evolución de las ecuaciones matemáticas desarrolladas a partir de resultados de estudios teóricos y experimentales. Lo anterior con el fin de dar a conocer a la ingeniería de pavimentos el estado actual de las investigaciones en esta área y motivar la generación de proyectos de investigación que soporten sus actividades en los reportes referenciados en el presente artículo. Posteriormente, en otro texto, se redactará el caso de fatiga tipo TDC.

FACTORES QUE AFECTAN LA FATIGA

Modo de carga

Los ensayos de laboratorio para caracterizar el comportamiento a la fatiga de mezclas asfálticas pueden hacerse bajo dos modos de carga: esfuerzo controlado o deformación controlada. En los ensayos bajo esfuerzo controlado, mientras el esfuerzo que se ejerce sobre la muestra se mantiene constante durante todo el ensayo, la deformación aumenta [17]. En los ensayos bajo deformación controlada, mientras la deformación que experimenta la muestra es constante durante todo el

ensayo, el esfuerzo disminuye. Con el aumento de las repeticiones de carga, la mezcla asfáltica se deteriora, es decir, pierde rigidez, y por tanto se requieren menos carga y menos esfuerzo para producir la misma deformación [18]. Para que los ensayos de laboratorio puedan simular en forma correcta lo que sucede en campo, es necesario conocer bajo qué modo de carga trabaja una mezcla asfáltica en servicio. Monismith [19] estableció una relación entre el espesor de la capa asfáltica y su modo de carga:

- Las capas asfálticas de espesor inferior o igual a dos pulgadas son cargadas a deformación constante.
- Las capas asfálticas de espesor mayor de seis pulgadas son cargadas a esfuerzo controlado.
- Las capas asfálticas de espesor mayor de dos pulgadas pero menor de seis pulgadas son cargadas en un modo intermedio.

Una afirmación similar a la anterior fue la que reportaron Elseifi et ál. [20] y Huang [21]. Monismith y Deacon [22] confirman que las capas de concreto asfáltico de más de seis pulgadas de espesor se comportan como si estuvieran trabajando bajo esfuerzo constante.

Existen diversas diferencias entre los dos modos de carga:

- Por lo general, las mezclas ensayadas bajo deformación controlada presentan una vida a la fatiga superior a las ensayadas bajo esfuerzo controlado [16-18]. La vida a la fatiga determinada bajo deformación controlada puede ser hasta diez veces más larga que la determinada bajo esfuerzo controlado, aunque se imponga el mismo nivel de deformación inicial [16].
- Como se mencionó con anterioridad, usualmente se reconocen dos fases durante el daño por fatiga: la fase de iniciación y la fase de propagación. En ensayos a esfuerzo controlado, la fase de iniciación es seguida por un muy corto estado de propagación, pero en ensayos a deformación controlada, a la primera fase la sigue un estado de propagación comparativamente más largo. Ésta puede ser una de las razones de la diferencia entre la vida a la fatiga definida a esfuerzo controlado y la que se determina bajo deformación controlada [16, 23].

- Independientemente del ensayo, existe un criterio de falla convencional que señala que la falla de la muestra ocurre cuando se ha perdido la mitad de la rigidez inicial (pérdida de la mitad del módulo de rigidez). Por tanto, en los ensayos a deformación controlada se presume que la falla ocurre cuando el esfuerzo inicial se reduce a la mitad [17].
- En los ensayos a esfuerzo controlado, por lo general se aplican dos criterios de falla. Primero, se puede suponer que la falla ocurre cuando la deformación inicial se duplica [17]; segundo, se puede presumir que la falla se presenta con la rotura de la muestra. Es importante mencionar que la vida a la fatiga definida por la pérdida de la mitad de la rigidez es diferente de la vida a la fatiga definida por la falla total de la muestra. Frecuentemente, el criterio de falla se alcanza mucho antes de la rotura de la probeta [24].
- El modo de carga también influye sobre la dispersión de los resultados, pues de acuerdo con diversos autores, los ensayos a deformación controlada presentan resultados más dispersos que los ensayos efectuados a esfuerzo controlado [16-18, 25].

Un resumen de las principales diferencias observadas en ambos modos de carga se resume posteriormente (tabla 1).

Tiempo de receso

Generalmente, los ensayos de fatiga se hacen aplicando la carga de manera continua; sin embargo, los ensayos discontinuos o que tienen recesos en la aplicación de la carga representan mejor las solicitaciones de las

mezclas asfálticas *in situ*. La importancia de los periodos de receso en la prolongación de la vida a la fatiga de concreto asfáltico la han comprobado ampliamente diversos investigadores en las pasadas tres décadas [1, 26-29]. La recuperación resulta en un incremento parcial de la rigidez luego de que ésta ha disminuido, y la vida a la fatiga se prolonga. En múltiples estudios realizados por Kim [30], Kim et ál. [31] y Bahía et ál. [32] se ha registrado la recuperación de microfisuras durante los periodos de receso. En particular, Bahía et ál. [32] mostraron los efectos benéficos de los periodos de receso en la recuperación del daño por fatiga en los ensayos de reómetro dinámico de corte (DSR, por su sigla en inglés) utilizando varios ligantes.

En ensayos con intervalos, la máxima recuperación del módulo depende del número de secuencias que se hayan aplicado [33-34]. El incremento de la temperatura durante el intervalo de receso causa una considerable recuperación de la rigidez de la mezcla [35-36]. Kim et ál. [37] han estudiado el proceso de recuperación sobre mezclas de arena-asfalto, encontrando que el grado de recuperación depende de la viscosidad del ligante. Bonnaure et ál. [38] señalaron que la recuperación de la mezcla es mayor cuando el ligante asfáltico presenta menor consistencia (evaluada a través del ensayo estándar de penetración). Francken y Clauwaert [39] indicaron que generalmente el efecto benéfico de los periodos de receso es mayor cuando el ligante asfáltico presenta mayor penetración y la mezcla tiene un alto contenido de ligante. Por su parte, De la Roche [40] explicó el proceso de recuperación considerando la tixotropía del ligante y confirmó lo reportado por Verstraeten [41]: el

Tabla 1
Comparación de los ensayos bajo esfuerzo controlado y deformación controlada

	Esfuerzo controlado	Deformación controlada
Criterio usual de falla	Rotura de la muestra	Pérdida de la mitad de la rigidez inicial
Vida a la fatiga	Más corta	Más larga
Dispersión de los resultados	Más baja	Más alta
Aumento de la temperatura	Disminución de la vida	Aumento de la vida
Aumento del módulo de rigidez	Aumento de la vida	Disminución de la vida
Tiempo de receso	Aumenta la rigidez y genera incremento de la vida	Aumenta la rigidez y genera disminución de la vida
Duración de la propagación de las macrofisuras	Corta	Larga
Crecimiento del daño	Más rápido de lo que ocurre <i>in situ</i>	Más representativo de lo que ocurre <i>in situ</i>

ligante asfáltico es más tixotrópico a altas temperaturas que a bajas temperaturas; por tanto, el incremento de la temperatura durante los periodos de receso lleva a una mayor recuperación del módulo de la mezcla. Hay que entender que los efectos beneficiosos de los periodos de receso a causa de la recuperación se deben principalmente al cierre de microfisuras dentro del concreto asfáltico [42].

Kim y Kim [28] y Kim et ál. [43] demostraron que el módulo efectivo de la capa asfáltica se incrementa durante los periodos de receso, al igual que la recuperación de las microfisuras, y que estos periodos de recuperación mejoran el desempeño del concreto asfáltico. Raithby y Sterling [26], unos de los inventores de los ensayos de tensión uniaxial, realizaron ensayos a esfuerzo controlado sobre mezclas de concreto asfáltico, usando una frecuencia de carga de 25 Hz, un tiempo de permanencia de la carga de 40 milisegundos y además aplicaron periodos de receso que variaban entre 0 y 1 segundo. Ellos descubrieron que antes de cierto límite el aumento de la duración de los periodos de receso lleva a un incremento de la vida a la fatiga de la mezcla. De acuerdo con sus investigaciones, los periodos de receso de duración mayor de 0,4 s no causan aumentos adicionales significativos de la vida a la fatiga, es decir, que el valor límite de incremento en la vida a fatiga estaba alrededor de los 0,4 s. Adicionalmente, ellos encontraron que mezclas sometidas a carga cíclica discontinua, bajo una frecuencia de 25 Hz, aplicando periodos de receso de 1 s, experimentan vidas a la fatiga 25 veces más largas, que aquellas ensayadas bajo carga cíclica continua a la misma frecuencia de aplicación. El efecto de los periodos de receso sobre la vida a la fatiga depende en gran parte de la temperatura del ensayo: por encima de los 25 °C, el efecto de los periodos de receso sobre el número de ciclos a la falla tiende a ser menor. Por su parte, la influencia de la forma de la onda fue menos importante que la duración de los periodos de recuperación.

Bonnaure [38] y Rivière [44] señalaron que el mayor incremento de la vida a la fatiga de una mezcla asfáltica se produce cuando el periodo de receso es igual a diez veces el periodo de carga. Sin embargo, mencionan adicionalmente que después de cierto límite, los periodos de receso ya no producen aumentos significativos de la vida a la fatiga.

Sias y Kim [42] reportaron los cambios sobre la rigidez que experimentaron dos tipos de mezclas durante ensayos de fatiga que emplearon cargas continuas y periodos de receso. De acuerdo con ellos, un incremento en el módulo ocurre después de cada periodo de receso. Aunque no se observó en todos los casos, el incremento en el módulo de elasticidad para los periodos de recuperación a los 60 °C fue mucho mayor que el aumento para los periodos de recuperación a 20 °C. Esto podría indicar que la capacidad de recuperación del cemento asfáltico (CA) debe mejorarse, como un resultado de su mayor capacidad de fluir y además cerrar más microfisuras a temperaturas más elevadas.

Frecuencia de carga

De manera general se reporta que la frecuencia de aplicación de carga influye ligeramente en los resultados de ensayos de fatiga. Monismith et ál. [45] hicieron ensayos bajo esfuerzo controlado, a una temperatura de 24 °C sobre mezclas de concreto asfáltico de gradación densa. En esta investigación reportaron:

- La aplicación de la carga a una frecuencia de entre 3 y 30 repeticiones por minuto, que no tiene efecto sobre el comportamiento a la fatiga de la mezcla.
- Frecuencia de carga entre 30 y 100 repeticiones por minuto, que causa una disminución de la vida a la fatiga de aproximadamente 20%.

Taylor [46], haciendo ensayos de fatiga en viga rotatoria en voladizo con un rango de velocidades de entre 80 y 2500 rpm sobre mezclas de concreto asfáltico, reportó que la frecuencia de carga influyó muy poco sobre la vida a la fatiga de las muestras ensayadas y que la influencia más considerable ocurre con frecuencias inferiores a 200 rpm.

Rigidez

Una mezcla asfáltica muy rígida *in situ* puede llegar a no tener un buen comportamiento a la fatiga, pero presenta una alta resistencia al ahuellamiento. Una mezcla asfáltica de baja rigidez presenta buen comportamiento a la fatiga, pero no se comporta bien al ahuellamiento. Por tanto, debe existir un equilibrio en la rigidez de la mezcla asfáltica que garantice su buen comportamiento

frente a estos dos mecanismos de falla en pavimentos flexibles [47]. Epps y Monismith [12], Elseifi et ál. [20] y Epps [48] hicieron ensayos a esfuerzo controlado sobre mezclas asfálticas densas en caliente que presentaban distintos módulos de rigidez inicial. Demostraron que bajo este modo de carga, si la rigidez inicial de la mezcla aumenta entonces el número de ciclos a la falla (vida a la fatiga) también aumenta. Schmidt y Santucci [49] señalaron que en ensayos a deformación controlada si la rigidez de la mezcla se incrementa, entonces el número de ciclos a la falla disminuye. Hsu y Tseng [1], con base en ensayos de viga en flexión con carga aplicada en tres puntos, ensayos de tensión indirecta y *creep* reportan una mayor vida a fatiga a medida que aumenta la rigidez inicial de la mezcla.

Métodos de compactación de la muestra

Los métodos de compactación de laboratorio incluyen la compactación estática, la compactación por impacto o compactación Marshall, la compactación vibratoria, la compactación por amasado, la compactación giratoria y la compactación con ruedas o rodillos (que puede hacerse tanto a pequeña escala como a escala natural). La aplicación de uno u otro método de compactación produce muestras con características diferentes: variación en la orientación y la distribución de agregados, y en las distribuciones y las formas de los vacíos [25, 50]. La técnica de compactación estática provoca el aplastamiento de los agregados y la extracción de la película de ligante que está entre las partículas, causando que la microestructura de la mezcla compactada sea diferente de la del material *in situ* [51]. La compactación por impacto presenta como principal desventaja la gran cantidad de energía que se transfiere en el impacto, la cual puede causar la degradación o fractura de los agregados pétreos o la ruptura de la película de asfalto, haciendo que las partículas se sostengan directamente una sobre la otra [52-54]. Otra desventaja es que este método sólo es adecuado para preparar muestras cilíndricas de pequeñas dimensiones. El método de compactación por amasado permite que la orientación de las partículas y las deformaciones de las mezclas de laboratorio sean similares a las de las mezclas compactadas en campo. Este método se emplea generalmente para la preparación de vigas de mezcla asfáltica para ensayos de fatiga. Frente a la compactación estática y

la compactación por impacto, la compactación giratoria produce muestras con características más parecidas a las de las mezclas compactadas en campo. Sin embargo, debido a fenómenos de segregación, tales muestras (compactación giratoria) no siempre son homogéneas. Los agregados de mayor tamaño se desplazan hacia los lados del molde de compactación cilíndrico, causando una gran cantidad de vacíos en los lados de la muestra [55-56]. Otra desventaja de la compactación giratoria es que no admite otras formas geométricas, pues su aplicación se limita a las muestras cilíndricas.

Von Quintus et ál. [53] compararon varios parámetros de rigidez y deformación medidos en núcleos extraídos de un pavimento flexible recién construido con los medidos en muestras preparadas en el laboratorio. Ellos concluyeron que la compactación giratoria es el método que mejor representa la compactación de la mezcla *in situ*. Establecieron el siguiente orden de precisión de los métodos de compactación de acuerdo con su capacidad para representar de manera consistente las propiedades de los núcleos extraídos en campo:

- Compactación cortante giratoria.
- Compactación por amasado.
- Compactación por impacto (martillo Marshall).

Von Quintus et ál. [53], Bonnot [57] y Van Dijk [58] señalaron que la utilización de ruedas y rodillos permite que la compactación de las mezclas de laboratorio sea similar a la compactación de las mezclas en campo. De todos los métodos de compactación, la compactación con ruedas o rodillos es el que logra la mayor similitud entre las mezclas compactadas en laboratorio y las mezclas compactadas *in situ*, pues la orientación de las partículas y la distribución de vacíos con aire son similares. La utilización de este método permite la obtención de mezclas más reales para utilizarlas en ensayos de fatiga, en comparación con las mezclas fabricadas con el método giratorio o por amasado [59].

Consistencia del asfalto, características de los agregados, contenido de asfalto y vacíos de aire

El contenido de vacíos de aire y el contenido de asfalto son dos de las características de las mezclas que más afectan el desempeño de una capa asfáltica en un

pavimento flexible. El contenido de asfalto debe ser lo bastante grande para proporcionar una adecuada resistencia a la fatiga y durabilidad, y al mismo tiempo debe ser lo suficientemente pequeño para minimizar el ahuellamiento, la exudación y la inestabilidad estructural. El contenido de vacíos con aire (que es relativo a la compactación) debe ser lo bastante pequeño para evitar la degradación de la mezcla con la aplicación de carga y no debe ser tan elevado, pues hay que evitar la inestabilidad estructural y la exudación [60]. Epps y Monismith [12], Bazin y Saunier [61], Pell [62], Pell y Taylor [63], y Seo et ál. [64] hicieron diversas investigaciones que buscaron determinar la influencia del contenido de vacíos sobre la vida a la fatiga de mezclas asfálticas. Estos estudios señalaron que bajo ensayos a esfuerzo controlado, las mezclas que contienen gran cantidad de vacíos de aire presentan una vida más corta a la fatiga. Schmidt y Santucci [49], después de efectuar diversos ensayos bajo deformación controlada, reportaron que al igual que en los ensayos a esfuerzo controlado, al reducir los vacíos de aire se logra una vida a la fatiga más larga. Doan [24] evaluó los estudios anteriormente mencionados y comprobó que la influencia del contenido de vacíos varía con el tipo de mezcla ensayada y el tipo de carga impuesta (deformación controlada o esfuerzo controlado):

- A deformación controlada y en mezclas asfálticas de gradación densa, una disminución en la cantidad de vacíos lleva a un módulo de rigidez más alto y, por tanto, a una vida a la fatiga más corta.
- A deformación controlada, para materiales granulares tratados con asfalto (bajo contenido de asfalto), la vida a la fatiga se incrementa cuando el contenido de vacíos disminuye.
- A esfuerzo controlado, la vida a la fatiga se incrementa cuando el contenido de vacíos disminuye.

Con respecto al contenido de asfalto, Di Benedetto y De la Roche [17] indicaron que este es el factor de mayor influencia sobre el comportamiento a la fatiga de mezclas asfálticas. Epps y Monismith [12], Pell [62], Jiménez y Gallaway [65] presentaron los resultados de diferentes ensayos de fatiga bajo esfuerzo controlado, demostrando que existe un contenido óptimo de asfalto que asegura el mejor comportamiento de la mezcla asfáltica a la fatiga. Este contenido óptimo, que depende

tanto del tipo de agregado como de la gradación, parece corresponder al contenido de asfalto que se requiere para conseguir la máxima rigidez de la mezcla y es superior al porcentaje de ligante que se determina con base en el método Marshall. Investigaciones realizadas por Epps y Monismith [12] concluyeron que por debajo del valor óptimo de asfalto la vida a la fatiga aumenta a medida que se incrementa el contenido de ligante. Por encima del valor óptimo de asfalto, la resistencia a la fatiga disminuye a medida que aumenta el contenido de asfalto. Hsu y Tseng [1] reportaron una mayor vida a fatiga cuando se utiliza 0,5% más de asfalto con respecto al óptimo.

Hacia mediados de la década de los noventa, Harvey et ál. [60] hicieron un estudio exhaustivo, cuyo propósito principal fue evaluar el efecto del contenido de asfalto y de vacíos de aire sobre la rigidez y el comportamiento a la fatiga de una mezcla de concreto asfáltico de uso general en las carreteras de California (Estados Unidos). Esta investigación incluye el desarrollo de dos fases experimentales. En un primer experimento, se ensayaron muestras con cinco contenidos diferentes de ligante y tres contenidos de vacíos de aire. Las mezclas se sometieron a ensayos a deformación controlada y cada una se probó bajo dos niveles de deformación (figura 2). Los resultados de este primer experimento confirman que en ensayos bajo deformación controlada, la vida a la fatiga se incrementa cuando el contenido de asfalto aumenta y el contenido de vacíos de aire disminuye. Adicionalmente, concluyeron que el control preciso de los vacíos de aire es más importante que el control del contenido de asfalto. Al respecto, citan el siguiente ejemplo: se quiere fabricar una mezcla con un contenido máximo de asfalto del 5% y un contenido máximo de vacíos del 5%. Si un contenido de vacíos de aire se excede en un 1%, la vida a la fatiga de la mezcla se reducirá en un 30%, pero si el contenido de asfalto se disminuye en 1%, la vida a la fatiga de la mezcla sólo se reduce en un 12%. Si las pruebas de control de calidad y garantía durante la construcción permitieran una deficiencia del 1% del contenido de asfalto y un 3% de exceso del contenido de vacíos, el efecto combinado podría significar una disminución de 70% de la vida a la fatiga.

Durante la segunda fase experimental, se ensayaron muestras con dos contenidos diferentes de vacíos de aire y cuatro contenidos de asfalto. Cada combinación se sometió a dos periodos de envejecimiento en horno

(tres y seis días) a una temperatura de 85 °C. Se utilizaron la misma gradación y el mismo tipo de cemento asfáltico empleados en el primer experimento. Para esta

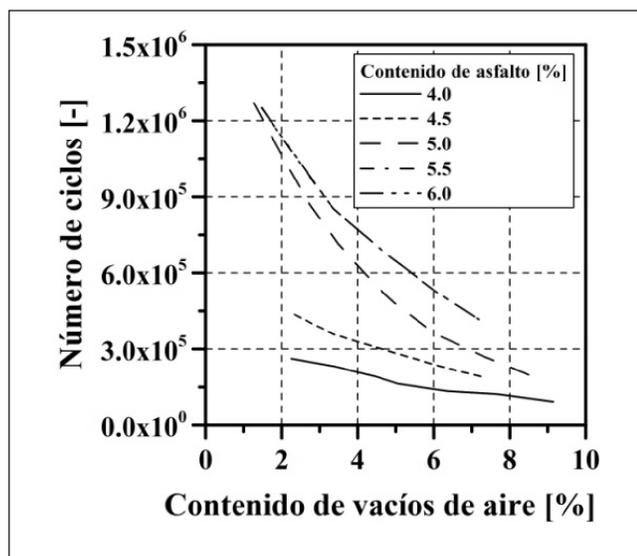


Figura 2. Efecto del contenido de vacíos de aire y el contenido de asfalto sobre la vida a la fatiga (150 microdeformaciones).

fase, Harvey et ál. [60] se apoyaron en investigaciones anteriores, que señalan que ocho días de envejecimiento en laboratorio equivalen aproximadamente a nueve años de envejecimiento *in situ*, en un medio seco y congelado, y aproximadamente a 18 años de envejecimiento en un medio húmedo pero no congelado ([66]; por otro lado, aseguraron que dos días de envejecimiento corresponden a seis años de envejecimiento *in situ*). Los resultados señalan que, a pesar del envejecimiento, el efecto del contenido de asfalto y de vacíos de aire sobre la vida a la fatiga y la rigidez inicial de las mezclas de concreto asfáltico ensayadas a deformación controlada es el mismo, es decir, que el aumento del contenido de asfalto lleva al aumento de la vida a la fatiga y a la reducción de la rigidez de la mezcla, mientras el aumento del contenido de vacíos resulta en la disminución de la vida a la fatiga y de la rigidez de la mezcla.

La influencia de la consistencia del asfalto (evaluada a través del ensayo estándar de penetración) sobre el comportamiento a la fatiga de las mezclas asfálticas se puede explicar por su efecto sobre la rigidez. Con el in-

cremento de la consistencia del asfalto también aumenta la rigidez de la mezcla; por tanto, bajo ensayos a esfuerzo controlado, las mezclas que tienen asfaltos de menor penetración presentan mayor vida a la fatiga. En los ensayos a deformación controlada sucede el caso contrario, pues las mezclas asfálticas que están fabricadas con asfaltos de menor penetración, es decir, las mezclas que son más rígidas, presentan vidas a la fatiga más cortas [18]. Schmidt y Santucci [49] reportaron que la vida a la fatiga que se determina en los ensayos a deformación controlada depende de la consistencia del asfalto. Estas investigaciones, que incluyeron ensayos sobre mezclas asfálticas fabricadas con asfalto de distinta penetración y sobre mezclas envejecidas artificialmente, señalan que mientras más rígido sea el asfalto (menor penetración en dmm), más larga es la vida a la fatiga de las mezclas de concreto asfáltico.

Ni et ál. [67], con base en ensayos de simulación de agrietamiento reflectivo, ductilidad por impacto y fatiga sobre vigas (RCS, IDT y BFT, respectivamente, por sus siglas en inglés), reportaron que un incremento en la penetración del CA mejora la resistencia al agrietamiento temprano debido a que la tasa promedio de agrietamiento disminuye (relación entre la longitud de la grieta y la diferencia entre el número de ciclos final donde falla la muestra y el inicial donde empieza la grieta), y el número de ciclos finales para que falle el material se incrementa. Concluyeron que cuanto menor sea el tamaño máximo de la partícula, mayor es la resistencia al agrietamiento temprano. Adicionalmente, con base en ensayos de reología utilizando un DSR mencionaron que asfaltos de mayor grado de funcionamiento (PG, por su sigla en inglés), experimentaron mayor resistencia a la fatiga por carga y por temperatura.

Pell y Taylor [63] indicaron que en ensayos a esfuerzo controlado, la naturaleza del agregado grueso, es decir, su obtención de grava sin triturar o de roca triturada, no ejerce una influencia significativa sobre el comportamiento a la fatiga del concreto asfáltico. De la misma forma, resultados de ensayos a esfuerzo controlado, realizados por Epps y Monismith [12], sobre mezclas de gradación densa compuestas por granito triturado, piedra caliza y grava de río, indican que el tipo de agregado tiene muy poco efecto sobre el comportamiento a la fatiga del concreto asfáltico.

Jiménez y Gallaway [65] presentaron los resultados de diversos ensayos de fatiga a esfuerzo controlado, que

sugieren que la cantidad de asfalto que se puede incorporar a la mezcla depende del tipo de agregado. Estos estudios indican que las mezclas que contienen agregados con textura rugosa pueden requerir más asfalto que las mezclas con agregados de textura suave, y por tanto las mezclas con agregados rugosos presentan mayor vida a la fatiga bajo esfuerzo controlado (figura 3).

En ensayos bajo esfuerzo controlado y para contenidos de asfalto similares, las mezclas de gradación densa muestran vidas a la fatiga más largas que las mezclas de gradación abierta. Además, parece que el poco efecto de la gradación de la mezcla sobre el comportamiento a la fatiga no puede explicarse por las diferencias en el contenido de vacíos o en el contenido de asfalto. A continuación se ilustra el poco efecto que ejerce la gradación del agregado pétreo sobre el comportamien-

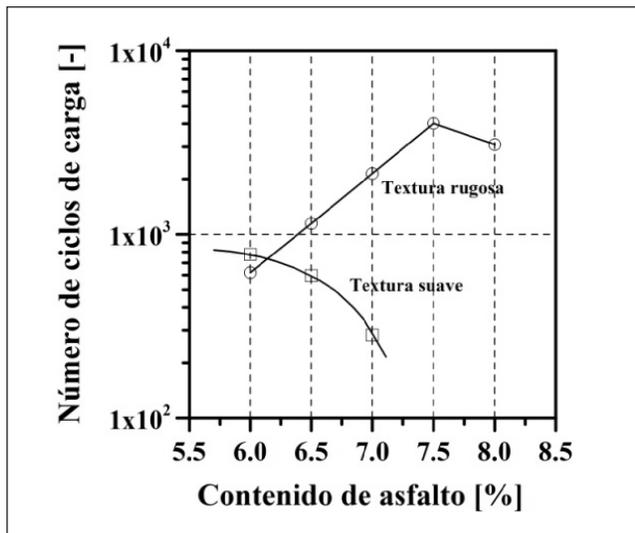


Figura 3. Contenido de asfalto vs. número de aplicaciones a la falla para dos tipos de agregados.

to a la fatiga de un concreto asfáltico (figura 4). C y F representan los límites grueso y fino de una mezcla de tamaño máximo de 1/2", con especificaciones de la División de Carreteras del estado de California (State of California Division of Highways) [18].

Kirk [68] y Maupin [69] ejecutaron ensayos bajo deformación controlada sobre mezclas que contenían diversos tipos de agregados. Kirk [68] concluyó que el tipo de agregado tiene un efecto insignificante sobre la vida a la fatiga de las mezclas asfálticas ensayadas bajo este modo de carga. Contrario a lo anterior, Maupin

[69], quien realizó ensayos sobre mezclas que contenían grava redondeada, lajas de pizarra y piedra caliza, concluyó que el tipo de agregado tiene amplio efecto sobre el comportamiento a la fatiga, pues las mezclas

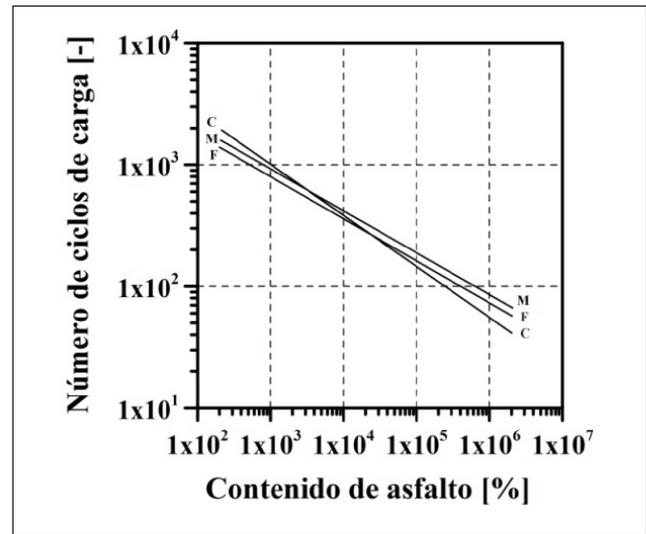


Figura 4. Efecto de la gradación de los agregados.

que contenían lajas de pizarra presentaron una vida a la fatiga significativamente diferente de las mezclas que contenían piedra caliza. La forma de los agregados no parece tener influencia sobre la resistencia a la fatiga de las mezclas asfálticas, únicamente la solidez de los agregados y sus propiedades de adherencia afectan la resistencia a la fatiga [70].

Temperatura

Debido a que las mezclas de concreto asfáltico experimentan un comportamiento viscoso, propiedades como la rigidez cambian con las variaciones de la velocidad de aplicación de la carga y la temperatura. Si las variaciones de temperatura resultan en cambios de la rigidez del concreto asfáltico, entonces para un mismo nivel de carga se presentan cambios en el esfuerzo de la mezcla. En los ensayos bajo esfuerzo controlado, la disminución de la temperatura significa aumento de la vida a la fatiga de la mezcla (figura 5) [18].

Por otra parte, contrario a lo reportado por diversos investigadores, para un nivel específico de deformación (ensayo a deformación controlada), Pell [71] reportó que la disminución de la temperatura lleva a un aumento

de la vida a la fatiga de la mezcla ensayada. Esto puede deberse a que la tasa de propagación de las macrofisuras es más lenta a altas temperaturas.

Sibal et ál. [72] modificaron mezclas asfálticas por vía seca adicionando desechos de caucho molido (grano-caucho) de llantas de neumáticos al agregado pétreo, con el fin de evaluar su efecto sobre la resistencia a fatiga

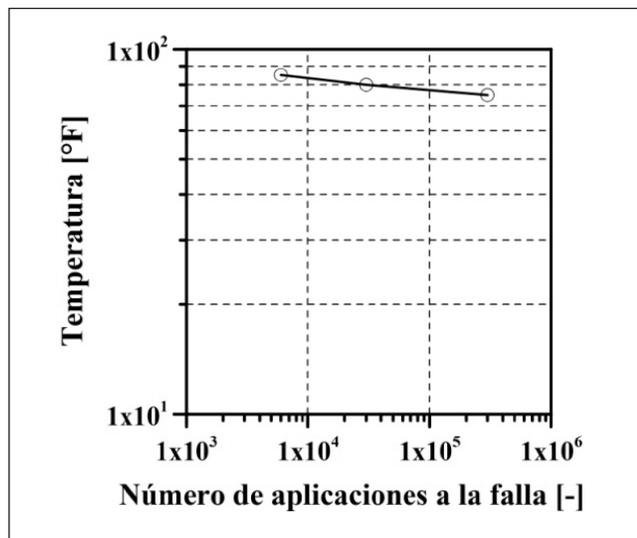


Figura 5. Temperatura del ensayo vs. número de aplicaciones a la falla [65].

a diferentes temperaturas. Más adelante se observa que dicha adición genera mezclas mucho más resistentes al fenómeno de fatiga para cualquier temperatura de ensayo. Conclusiones similares reportaron Elseifi et ál. [20], modificando mezclas de concreto asfáltico con elastómero tipo SBS.

Wensheng et ál. [73], con base en simulaciones realizadas en el programa de elementos finitos ANSYS 3D y utilizando una ecuación constitutiva termo-viscoelástica, concluyeron que cuanto menor es la temperatura mayor es el esfuerzo térmico y, por tanto, mayor será la probabilidad de agrietamiento por bajas temperaturas; el esfuerzo térmico acumulado en el concreto asfáltico no es considerable a temperaturas superiores a -5 °C; capas asfálticas cuyos módulos no son muy rígidos pueden limitar el esfuerzo térmico inducido, llevando a un mejor control del agrietamiento térmico.

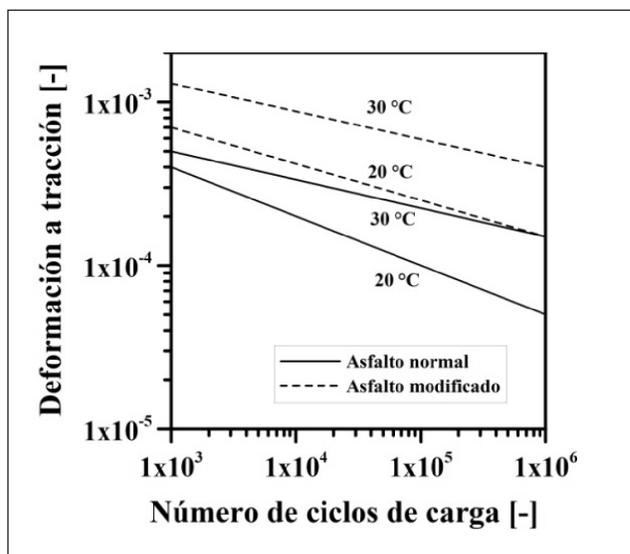


Figura 6. Ley de fatiga para mezclas asfálticas modificadas con grano-caucho [72].

Envejecimiento y condiciones ambientales

Las mezclas asfálticas en servicio se envejecen e incrementan su rigidez con el tiempo. Para estudiar el efecto del envejecimiento, varios investigadores hicieron ensayos bajo esfuerzo controlado sobre muestras con envejecimiento artificial y sin éste. Vallerga et ál. [74], por ejemplo, estudiaron el efecto del envejecimiento sobre las propiedades de fatiga del concreto asfáltico. Como conclusión general reportaron que las mezclas envejecidas o rigidizadas, con el tiempo presentan vidas a la fatiga más largas. Sin embargo, Epps [48] señaló que a bajas temperaturas, el aumento de la rigidez del asfalto debido al envejecimiento reduce la resistencia de la mezcla a la falla, a causa del incremento de la fragilidad. Contrario a lo reportado por Vallerga et ál. [74], Schmidt y Santucci [49] señalaron, con base en ensayos bajo deformación controlada, que muestras envejecidas presentan vidas a la fatiga más cortas.

Nernas y Nunn [75-76] reportaron los resultados de simular en un programa de elementos finitos el efecto del envejecimiento sobre el fenómeno de agrietamiento por baja temperatura. Para tal fin, incrementaron la rigidez de la mezcla de 3,5 a 12 GPa. Ellos observaron un aumento en la relación de esfuerzo térmico cuando se incrementa la rigidez de la mezcla, lo que induce a pensar que en materiales más rígidos la resistencia al agrietamiento por baja temperatura es menor. De la misma manera concluyeron que cuanto mayor sea el

espesor de la capa asfáltica, menor es la resistencia a este fenómeno.

De acuerdo con Esch y Franklin [77], Kanerva et ál. [78], Vinson et ál. [79], Kliewer et ál. [80], Epps [81], Chen [82] y Ningli et ál. [83], mientras más oxidado o envejecido sea el pavimento, mayor será la incidencia y menor la resistencia al agrietamiento por baja temperatura, incrementando la frecuencia de las grietas en el pavimento. Esto se asocia con un aumento en la rigidez del CA.

Kliewer et ál. [80] realizaron una investigación para evaluar en laboratorio el efecto del tipo de CA, de la temperatura y la duración de envejecimiento sobre las características de agrietamiento térmico de mezclas asfálticas. Usaron para tal fin el ensayo de esfuerzo térmico (TSRST, por su sigla en inglés). Reportaron un incremento en el esfuerzo inducido a medida que disminuye la temperatura hasta que el material falla. Se formaron dos grupos de ensayos: uno para evaluar el efecto del tipo de CA y otro para evaluar el contenido de vacíos de la mezcla. Mencionaron que la temperatura de fractura aumenta a medida que se eleva la edad de envejecimiento del CA y estos valores de aumento son mayores cuando se incrementa la temperatura de envejecimiento de 50 a 85 °C.

Tarefder et ál. [4] ensayaron tres mezclas asfálticas en condiciones húmeda y seca. Ellos indujeron una grieta en las mezclas y observaron su propagación en tiempo real en un ensayo de tensión indirecta bajo deformación constante. Reportan que las mezclas húmedas son más resistentes al apareamiento de la grieta que las secas debido a que las húmedas son más blandas (menos rígidas) y bajo deformación controlada una disminución en la rigidez equivale a un aumento en la vida a fatiga de la mezcla.

ECUACIONES EMPÍRICAS

Por lo general, la respuesta a la fatiga de mezclas asfálticas se caracteriza en forma empírica como relaciones lineales en diagramas logarítmicos que normalmente relacionan la deformación a tensión $\epsilon\sigma_t$ (ensayos a deformación controlada), el esfuerzo a tensión σ_t (ensayos a esfuerzo controlado), el esfuerzo inicial o la deformación inicial con el número de ciclos de carga a la falla (N_f) [84-86]. Diversos investigadores denominan “leyes de fatiga” a estos diagramas. Los primeros estudios de

laboratorio que tratan de evaluar y describir el fenómeno de fatiga a partir de relaciones de este tipo los hizo Wholer en 1852. Es más, la curva que relaciona la vida a la fatiga (número de ciclos a la falla, N_f) y la amplitud de la sollicitación aplicada (esfuerzo σ_t o deformación ϵ_t) es conocida como la curva de Wholer [17]. Esta curva está caracterizada por las siguientes ecuaciones:

- Para ensayos a deformación y esfuerzo controlado (ecuaciones 1 y 2, respectivamente):

$$N_f = k_1 \left(\frac{1}{\epsilon_t} \right)^{k_2} \tag{1}$$

$$N_f = k_1 \left(\frac{1}{\sigma_t} \right)^{k_2} \tag{2}$$

- Cooper y Pell [89] y Pell y Cooper [90] sugirieron considerar el efecto de la rigidez (E), el volumen del asfalto (V_b) y el volumen de los vacíos con aire (AV):

$$N_f = k_1 \left(\frac{1}{\epsilon_t} \right)^{k_2} \left(\frac{1}{E} \right)^{k_3} \frac{V_b}{AV + V_b} \tag{3}$$

Finn et ál. [91], Bonnaure et ál. [92] y Monismith et ál. [93] plantearon ecuaciones similares para tener en cuenta los efectos de la temperatura y del envejecimiento de la mezcla asfáltica a través de la rigidez.

- Finn et ál. [91] sugirieron la siguiente ecuación para determinar el número de ciclos de carga de un eje simple equivalente de 130 kN (W_{130f}), indispensable para iniciar la propagación de grietas en mezclas asfálticas sometidas a fatiga:

$$\log W_{130f} = k_1 + k_2 \log(\epsilon_r) + k_3 E \tag{4}$$

ϵ_r es la máxima deformación a tracción que experimenta la zona inferior de la capa asfáltica sometida a ejes simples duales de 130 kN, E es el módulo de elasticidad de la mezcla asfáltica y k_i son parámetros obtenidos por regresión.

- Elliot y Thompson [94] desarrollaron la ecuación (5), la cual relaciona las repeticiones de carga a la falla N_f con la deflexión de la superficie Δ (en mils). Esta

ecuación se logró con base en múltiples medidas de deflexión obtenidas *in situ*. Adicionalmente estos investigadores, con base en un análisis estadístico de un amplio número de datos extraídos de la bibliografía existente, establecieron la ecuación (6), la cual relaciona N_f con la deformación ϵ_t y el módulo dinámico E (en psi) de la mezcla ensayada.

$$N_{f18} = \frac{5.6 \times 10^{11}}{\Delta^{4.6}} \quad (5)$$

N_{f18} es el número de aplicaciones de carga de 18 kips para lograr la falla por fatiga.

$$\log N_f = 2,4136 - 3,16 \times \log \epsilon - 1,4 \times \log E \quad (6)$$

- Otra relación de fatiga utilizada por el Departamento de Transporte de Illinois se presenta en la ecuación (7), desarrollada a partir de investigaciones hechas por Thompson [95].

$$N_f = k_1 \left(\frac{1}{E} \right)^{k_2} \quad (7)$$

- El modelo SHRP A-404 se desarrolló para predecir la vida a la fatiga de mezclas de concreto asfáltico. Las investigaciones realizadas incluyeron ocho tipos de asfalto, dos tipos de agregados, dos niveles de deformación, frecuencia de aplicación de carga de 10 Hz y temperatura de ensayo de 20 °C. El modelo generado a partir de los ensayos se presenta en las ecuaciones (8-9).

$$N_f = 466,4 \exp^{0,052VFB} \epsilon_o^{-3,948} S_o^{-2,27} \quad (8)$$

$$N_f = 6,72 \exp^{0,049VFB} w_o^{-2,047} \quad (9)$$

ϵ_o es la deformación inicial, S_o es la pérdida de rigidez inicial en psi, w_o es la energía disipada inicial por ciclo en J/cm³ y VFB es el porcentaje de vacíos llenos de cemento asfáltico.

- El modelo utilizado por el TAI-Instituto del Asfalto [96] se desarrolló a partir de datos de laboratorio. Este trabajo lo ejecutaron el Instituto y Finn et ál. [91]. La siguiente ecuación de fatiga se planteó así:

$$N_f = 18,4C \left(4,325 \times 10^{-3} \epsilon_t^{-3,291} \right) |E^*|^{0,854} \quad (10)$$

$$C = 10^M \quad (11)$$

$$M = 4,84 \left(\frac{V_b}{V_b + V_v} - 0,69 \right) \quad (12)$$

$|E^*|$ = Módulo dinámico de la mezcla asfáltica en psi, C es una función del volumen de vacíos y el volumen de asfaltos, V_b es el porcentaje del volumen de asfalto y V_v es el porcentaje del volumen de vacíos. El valor de M se obtuvo a partir de datos de laboratorio desarrollados por Pell y Cooper [90]. Puede apreciarse que la vida a la fatiga disminuye mediante el aumento del contenido de vacíos de aire o la reducción del contenido de asfalto en la mezcla asfáltica. Una ecuación similar a la (10) la desarrollaron Nishizawa et ál. [97] en Japón.

- El criterio de fatiga de la Shell [98] está basado en la deformación máxima en tensión del concreto asfáltico ϵ_t y el módulo dinámico E (en ksi). La siguiente expresión se emplea para predecir la vida a la fatiga:

$$N_f = 4,91 \times 10^{-13} (0,86V_b + 1,08)^5 \left(\frac{1}{\epsilon_t} \right)^5 \left(\frac{1}{E} \right)^{1,8} \quad (13)$$

V_b es el volumen de asfalto en la mezcla en porcentaje. El desarrollo de esta relación se fundamenta en el modelo de fatiga propuesto por Van Dijk y Visser [99], quienes utilizaron una máquina de ensayo de pista sobre placas de asfalto para comparar los resultados con ensayos realizados bajo deformación controlada. Estos resultados experimentales de fatiga bajo deformación controlada se usaron como criterio de falla en los procedimientos de diseño de la Shell [98]. Otra ecuación recomendada por la Shell [98] para fines de diseño es la siguiente:

$$N_f = \left[(17,4V_b + 22) |E^*|^{-0,28} \epsilon^{-1} \right]^5 \quad (14)$$

$|E^*|$ es el módulo en MPa.

- El Modelo del Transport and Road Research Laboratory (TRRL) lo desarrollaron Powell et ál. [100], y está basado en el desempeño en campo de múltiples experimentos sobre pavimentos flexibles. La vida de diseño puede calcularse utilizando las siguientes

relaciones para un 85% de probabilidad de efectividad y una temperatura equivalente de 20 °C.

a) Mezcla de gradación densa y CA de penetración igual a 100 dmm:

$$N_f = 4,69 \times 10^{-10} \left(\frac{1}{\epsilon_r} \right)^{4,16} \quad (15)$$

b) Mezcla abierta en caliente y CA de penetración igual a 50 dmm:

$$N_f = 1,66 \times 10^{-10} \left(\frac{1}{\epsilon_r} \right)^{4,32} \quad (16)$$

ϵ_r es la deformación horizontal en tensión en la parte inferior de la capa asfáltica que se produce con una carga de rueda estándar.

- La ecuación de fatiga utilizada en el *Manual de diseño de pavimentos* de la Mobil está basada en el procedimiento Nottingham [101-102]. Los coeficientes en esta ecuación se obtienen con base en dos parámetros principales de la mezcla: la proporción volumétrica del ligante y su punto de ablandamiento inicial.

$$\log N_f = a \log \epsilon_t - k - (b \log \epsilon_t - d) \log V_b - (d \log \epsilon_t - e) \log SP_i \quad (17)$$

k oscila entre 46,06 y 46,82 para la vida a fatiga en condiciones críticas. Las condiciones de falla se definieron como 20 mm de ahuellamiento o falla extensiva en la trayectoria de la llanta, mientras las condiciones críticas se consideraron 10 mm de ahuellamiento o la primera aparición de la fisura en la trayectoria de la llanta; $a-e$ son parámetros de regresión.

- El modelo del Centro de Investigación de Carreteras de Bélgica lo desarrollaron Verstraeten et ál. [103-104]. Los investigadores tuvieron en cuenta dos mecanismos de falla: fatiga y acumulación de deformación permanente (ahuellamiento). Este estudio se hizo sobre 42 mezclas diferentes. Basados en la composición de la mezcla, Francken y Verstraeten [105] desarrollaron la siguiente ecuación de fatiga:

$$N_f = 10^6 \left(\frac{\epsilon_o}{A \times G} \frac{V_b + V_v}{V_b} \right)^{3,85} \quad (18)$$

A es un coeficiente que depende del contenido de asfaltenos en el ligante, G es un factor empírico

que depende de la gradación del agregado. Para la mayoría de las mezclas utilizadas en la construcción de caminos, $G=1$, V_b es el contenido de ligante en volumen (%) y V_v es el contenido de vacíos (%).

Para propósitos prácticos del diseño, la siguiente ecuación de fatiga se utiliza en Bélgica:

$$N_f = 4,92 \times 10^{-14} \left(\frac{1}{\epsilon_t} \right)^{4,76} \quad (19)$$

- Modelo de la Dirección Nacional de Caminos de Dinamarca. Ullidtz [106] propuso el criterio de fatiga para las autopistas de Dinamarca, utilizando la teoría elástica para calcular los esfuerzos y deformaciones críticas empleando el ensayo de deflectometría por impacto. La ecuación propuesta es la siguiente:

$$N_f = 2,94 \times 10^6 V_b^{5,62} \left(\frac{1}{\epsilon_t} \right)^{5,62} \quad (20)$$

- En el modelo de fatiga para Noruega se usaron en su etapa experimental tres metodologías diferentes para realizar ensayos de fatiga: flexión repetitiva en cuatro puntos, viga cargada en la parte central apoyada sobre una base de caucho y el equipo de ensayo de tensión indirecta. Diez mezclas diferentes se analizaron en este estudio y 464 muestras se ensayaron. Este modelo, desarrollado por Myre [107], finalmente se basó en los resultados del ensayo de la viga cargada en la parte central. El análisis de 336 muestras sirvió para formular la siguiente expresión:

$$\log N_f = K - 6,1447 \log \epsilon_t - 3,395 \log E + 0,3864 \log V_b MF - A \quad (21)$$

$$MF = 1,99 - 3,37 \frac{A}{B} - 0,00342B + 0,004A + 0,00153E \quad (22)$$

$$A = \sum_{i=1}^{i=n} (h_i \sqrt[3]{E_i}) \quad (23)$$

$$B = \sum_{i=1}^{i=m} (h_i \sqrt[3]{E_i}) \quad (24)$$

h_i es el espesor de la capa número i en cm, E_i es el módulo de rigidez de la capa número i en MPa, E

es el módulo de rigidez de la subrasante en MPa, n es la capa de asfalto más profunda, m es la subbase, $K=34,53$ y $A=0,079$.

- Tayebali et ál. [108] propusieron la siguiente ecuación con base en ensayos de deformación realizados bajo deformación controlada:

$$N_f = 466,4 \exp(0,0521 VEA) \epsilon_o^{-3,948} (E \sin \phi)^{-2,270} \quad (25)$$

N_f es el número de ciclos de falla, E es la rigidez en flexión de la mezcla asfáltica en psi, ϕ es el ángulo de fase entre el esfuerzo y la deformación, ϵ_o es la amplitud de la deformación y VEA es el porcentaje de vacíos llenos de asfalto.

- El criterio de falla en Francia está basado en la amplitud de la deformación y la pérdida del 50% de la rigidez a un millón de ciclos, considerando una amplitud de deformación constante [109]. La siguiente relación de fatiga es utilizada:

$$N_f = \left[\frac{\epsilon_{cal}}{k \times \epsilon_o(\theta)} \right]^{1/b} \quad (26)$$

ϵ_{cal} es la deformación calculada en la estructura, equivalente al circuito de una carga, $\epsilon_o(\theta)$ es la deformación causante de la falla de la muestra en 10^6 aplicaciones de carga (esfuerzo o deformación) a la temperatura θ , b es la pendiente de la curva de fatiga, k es un factor de cambio de traslación del laboratorio al ensayo de pista. Este factor es obtenido a partir de datos de fatiga de laboratorio y las observaciones realizadas en la pista del Laboratorio de Caminos y Puentes en Francia (LCPC, por su sigla en francés). Los valores del coeficiente k varían entre 0,8 y 3,87. Los valores para el parámetro $1/b$ varían desde 3,4 hasta 9.

- Modelo PDMAP - NCHRP (*National Cooperative Highway Research Program*) 1-10B:

$$\log N_f = 14,82 - 3,291 \log \left(\frac{\epsilon_t}{10^{-6}} \right) - 0,854 \log \left(\frac{|E^*|}{10^3} \right) \quad (27)$$

E^* es el módulo complejo (psi). Las observaciones de falla y ahuellamiento a partir del AASHTO Road

Test se emplearon para calibrar la ecuación anterior. Un factor de cambio igual a 13 se utilizó para el 10% de probabilidad de falla y 18,4 para el 45%.

- Modelo de fatiga de NCHRP 1-37A. Un amplio proceso de calibración utilizando datos de campo y secciones LITP (*Long Term Pavement Performance Program*) se llevó a cabo para establecer los coeficientes de las mezclas construidas en diferentes lugares de Estados Unidos. La ecuación del modelo de El-Bas-youny y Witzcak [110] es la siguiente:

$$N_f = \beta_{f1} k_i \epsilon_t^{-\beta/2k2} E^{-\beta/3k3} \quad (28)$$

k_i son coeficientes de regresión de laboratorio, β_f son parámetros de calibración.

- Rondón et ál. [111], con base en 360 ensayos de fatiga y módulo resiliente (E) realizados en un Nottingham Asphalt Tester (NAT) sobre tres tipos de mezclas asfálticas colombianas (MDC-1, MDC-2 y MDC-3, de acuerdo con Invías [112]), determinaron la siguiente ecuación para reproducir la amplitud de la deformación necesaria para que el material falle cuando se aplican N ciclos de carga (ϵ_{max}):

$$\epsilon_{max} = a + \frac{b}{E} + \frac{c}{E^{3/2}} \quad (29)$$

$a=6,24 \times 10^{-6}$, $b = 0,48$ y $c = 15,79$. Adicionalmente, encontraron una ecuación (30) para predecir el número de ciclos N_f que soporta una muestra en el laboratorio para fallar por fatiga bajo esfuerzo controlado.

$$N_f = 4,74 \left(\frac{\sigma}{E} \right)^{-2,96} 10^{0,165} \quad (30)$$

E es el módulo resiliente de la mezcla en MPa y σ es el esfuerzo aplicado en MPa.

Varios investigadores han encontrado amplias discrepancias entre las deformaciones medidas en laboratorio e *in situ* y han determinado unos coeficientes de correlación que ellos denominan en la bibliografía de referencia como *shift factor*. Finn et ál. [91] sugirieron un factor de 13,03, el Instituto del Asfalto - TAI [96] recomendó un factor de 20, Brunton et ál. [113] de 440 y Pell [114] entre 5 y 700.

CONCLUSIONES

El principal factor que influye en la generación de fatiga en mezclas asfálticas es la magnitud de las cargas cíclicas. La fatiga en este tipo de materiales se incrementa proporcionalmente cuando se aumenta la magnitud del esfuerzo cíclico. De manera general, se reporta que la vida a fatiga de mezclas asfálticas depende del modo de carga bajo el cual son sometidas las muestras en el laboratorio. Adicionalmente, es tradicional correlacionar la vida a fatiga de mezclas asfálticas con el modo como evoluciona la rigidez; por tanto, factores como el contenido de vacíos y asfalto, grado de compactación, tipo de agregado pétreo y asfalto, forma y tamaño de partículas, envejecimiento, frecuencia de carga y temperatura son analizados desde la manera como evoluciona la rigidez, para luego evaluar el incremento o disminución de la vida a fatiga. Por lo anteriormente expuesto, si cada uno de los factores mencionados aumenta la rigidez de la mezcla, este material experimentará un incremento en su vida a fatiga cuando es sometido a esfuerzo controlado. Lo contrario ocurre para el caso de mezclas sometidas al modo de carga de deformación controlada.

Las ecuaciones matemáticas utilizadas para intentar predecir la respuesta a fatiga que experimentan mezclas asfálticas *in situ* y en el laboratorio se concentran por lo general en relacionar principalmente el número de ciclos de falla que resiste la mezcla con la deformación o el esfuerzo aplicado, la rigidez y su composición volumétrica. La mayor deficiencia de estas relaciones matemáticas es que no son capaces de predecir en una sola ecuación la deformación o el número de ciclos de falla que experimentará una mezcla asfáltica cuando es sometida a diferentes magnitudes de carga o deformación, rigidez y condiciones del medio ambiente.

REFERENCIAS

- [1] Hsu, T.-W. & Tseng, K.-H. (1996). Effect of Rest Periods on Fatigue Response of Asphalt Concrete Mixtures. *J. of Transp. Eng.*, vol. 122, N.º 4, pp. 316-322.
- [2] Martono, W. Bahia, H.U. & D'Angelo, J. (2007). Effect of Testing Geometry on Measuring Fatigue of Asphalt Binders and Mastics. *J. Mat. in Civil Eng.*, vol. 19, N.º 9, pp. 746-752.
- [3] Masad, E., Castelo Branco, V.T.F., Little, D.N. & Lytton, R. (2008). A Unified Method for the Analysis of Controlled-Strain and Controlled-Stress Fatigue Testing. *Int. Journal of Pavement Engineering*, vol. 9, N.º 4, pp. 233-246.
- [4] Tarefder, R.A., Kias, E. & Zaman, A. (2008). Cracking in Asphalt Concrete under Wet and Dry Conditions. Pavements and Materials 2008: Modeling, Testing, and Performance, *Proc. of the Symp. on Pavement Mechanics and Materials*, pp. 37-47.
- [5] Vinson, T., Janoo, V. & Haas, R.C.G. (1989). Summary Report on Low Temperature and Thermal Fatigue Cracking. SHRP-A/IR-90-001, Strategic Highway Research Program. Washington, D.C.: National Research Council.
- [6] Baladi, G.Y., Schorsch, M. & Svasdisant, T. (2003). Determining the Causes of Top-Down Cracks in Bituminous Pavements. Michigan State U., Pavement Res. Center of Excellence, Depart. of Civil and Environm. Eng., Report Number MDOT - PRCE - MSU -2003 -110.
- [7] Emery, J.J. (2006). Evaluation and Mitigation of Asphalt Pavement Top-Down Cracking. Paper prepared for presentation at the Assess. and Rehab. of the Cond. of Mat., Session of the 2006 Annual Conf. of the Transp. Assoc. of Canada Charlottetown, Prince Edward Island.
- [8] Harmelink, D., Shuler, S. & Aschenbrener, T. (2008). Top-Down Cracking in Asphalt Pavements: Causes, Effects, and Cures. *J. Transportation Engineering*, vol. 134, N.º 1, pp. 1-6.
- [9] Hesp, S.A.M., Soleimania, A., Subramania, S., Phillips, T., Smith, D., Marks, P. & Tam, K.K. (2009). Asphalt Pavement Cracking: Analysis of Extraordinary Life Cycle Variability in Eastern and Northeastern Ontario. *Int. J. of Pavement Eng.*, vol. 10, N.º 3, pp. 209-227.
- [10] Sebaaly, P.E., Lake, A. & Epps, J. (2002). Evaluation of Low-Temperature Properties of HMA Mixtures. *J. Transportation Engineering*, vol. 128, N.º 6, pp. 578-586.
- [11] Hiltunen, D. & Roque, R. (1994). A Mechanics-Based Prediction Model for Thermal Cracking of Asphaltic Concrete Pavements. *J. Assn. Asphalt Paving Techn.*, vol. 63, pp. 81-113.
- [12] Epps, J.S. & Monismith, C.L. (1969). Influence of Mixture Variables on the Flexural Fatigue Properties of Asphalt Concrete. *Proc. Assoc. Asphalt Pav. Techn.*, vol. 38, pp. 423-464.
- [13] Monismith, C.L. & McLean, D.B. (1972). Technology of Thick List Construction: Structural Design Considerations. *Proc. Assoc. Asphalt Paving Techn.*, vol. 41, pp. 258-304.
- [14] Monismith, C.L., Harvey, J.T., Bressette, T., Suszko, C. & Martin, J.S. (2004). The I-710 Freeway Rehabilitation Project: Mix and Structural Section Design, and Lessons Learned. *Int. Symp. on Design and Construction of Long Lasting Asphalt Pavements*. Auburn, Alabama, pp. 217-261.
- [15] Rodríguez, R.M. (2000). A Model for Fatigue Cracking Prediction of Asphalt Pavements Based on Mixture Bonding Energy. *Int. J. Pavement Eng.*, vol. 1, N.º 2, pp. 133-149.
- [16] Di Benedetto, H., De la Roche, C., Baaj, H., Pronk, A. & Lundstrom, R. (2004). Fatigue of Bituminous Mixtures. *Material and Structures*, vol. 37, N.º 4, pp. 202-216.
- [17] Di Benedetto, H. & De la Roche, C. (2005). State of the Art on Stiffness Modulus and Fatigue of Bituminous Mixtures. *Report RILEM N.º 17 Bituminous Binders and Mixes: State of the Art and Interlaboratory Test on Mechanical Behavior and Mix Design*. L. Francken (ed.), London: E. and FN Spon, pp. 97-123.
- [18] Epps, J.A. & Monismith, C.L. (1972). Fatigue of Asphalt Concrete Mixtures-Summary of Existing Information. *Fatigue of Compacted Bituminous Aggregate Mixtures*, ASTM STP 508, ASTM, pp. 19-45.
- [19] Monismith, C.L. (1996). Asphalt Mixture Behavior in Repeated Flexure. Report N.º TE 66-66, ITIE, to California Division of Highways, University of California.
- [20] Elseifi, M.A., Flintsch, G.W. & Al-Qadi, I.L. (2003). Quantitative Effect of Elastomeric Modification on Binder Performance at Intermediate and High Temperatures. *J. Materials in Civil Engineering*, vol. 15, N.º 1, pp. 32-40.

- [21] Huang, Y.H. (2004). *Pavement Analysis and Design*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- [22] Monismith, C.L. & Deacon, J.A. (1969). Fatigue of Asphalt Paving Mixtures. *J. Transp. Eng.*, vol. 95, N.º 2, pp. 317-346.
- [23] Khalid, H.A. (2000). A Comparison Between Bending and Diametral Fatigue Tests for Bituminous Materials. *Materials and Structures*, vol. 33, N.º 8, pp. 457-465.
- [24] Doan, T.H. (1977). *Les études de fatigue des enrobés bitumineux au LCPC*. Bulletin, Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées, France Spécial V, pp. 215-228 (in French).
- [25] Rao Tangella, R., Craus, J., Deacon, J.A. & Monismith, C.L. (1990). *Summary Report on Fatigue Response of Asphalt Mixtures*. Rep. to Strat. Highw. Res. Program. Washington, D.C.
- [26] Raithby, K.D. & Sterling, A.B. (1972). Some Effects of Loading History on the Performance of Rolled Asphalt. TRRL-LR 496. Crowthorne, England.
- [27] Bonnaure, F.P., Huibers, A.H. & Boonders, A. (1982). A Laboratory Investigation of the Influence of Rest Periods on the Fatigue Characteristics of Bituminous Mixes. *J. Association of Asphalt Paving Techn.*, vol. 51, pp. 104-126.
- [28] Kim, Y. & Kim, Y.R. (1997). In-situ Evaluation of Fatigue Damage Growth and Healing of Asphalt Concrete Pavements using Stress Wave Method. *Transportation Research Record*, 1568, TRB. Washington, D.C., N.º 1568, pp. 106-113.
- [29] Whitmoyer, S. & Kim, Y.R. (1994). Determining Asphalt Concrete Properties Via the Impact Resonant Method. *J. Testing and Evaluation*, vol. 22, N.º 2, pp. 139-148.
- [30] Kim, Y.R. (1988). Evaluation of Healing and Constitutive Modeling of Asphalt Concrete by Means of the Theory of Nonlinear Viscoelasticity and Damage Mechanics. Ph.D. thesis. Texas: Texas A&M Univ., College Station.
- [31] Kim, Y.R., Whitmoyer, S.L. & Little, D.N. (1994). Healing in Asphalt Concrete Pavements: Is it Real. *Transportation Research Record*, 1454, TRB. Washington, D.C., pp. 89-96.
- [32] Bahia, H., Zhai, H., Bonnetti, K. & Kose, S. (1999). Non-linear Viscoelastic and Fatigue Properties of Asphalt Binders. *J. Association of Asphalt Paving Techn.*, vol. 68, pp. 1-34.
- [33] Breyse, D., De La Roche, C., Domec, V. & Chauvin, J.J. (2003). Influence of Rest Time on Recovery and Damage During Fatigue Tests on Bituminous Composites. *Materials and Structures*, vol. 36, N.º 10, pp. 648-651.
- [34] Breyse, D., De La Roche, C., Domec, V. & Chauvin, J.J. (2003a). Influence of Rest Time on Recovery and Damage During Fatigue Tests on Bituminous Composites. *Perf. Testing and Evaluation of Bituminous Mat.* M. N. Partl (ed.), Rilem, Bagneux, France, pp. 410-423.
- [35] Baaj, H. (2002). *Comportement a la Fatigue des Matériaux Granulaires Traités Aux Liants Hydrocarbonés*. Ph.D. thesis. France: Institut National des Sciences Appliquées de Lyon.
- [36] Lee, H.J., Sias, J. & Kim, Y.R. (2000). Continuum Damage Mechanics-Based Fatigue Model of Asphalt Concrete. *J. of Materials in Civil Eng.*, vol. 12, N.º 2, pp. 105-112.
- [37] Kim, Y.R., Little, D.N. & Burghardt, R.C. (1991). SEM Analysis on Fracture and Healing of Sand-Asphalt Mixtures. *J. Materials in Civil Engineering*, vol. 3, N.º 2, pp. 140-153.
- [38] Bonnaure, F., Huibers, A. & Bonders, A. (1983). Étude en Laboratoire de l'influence des Temps de Repos sur les Caractéristiques de Fatigue des Enrobés Bitumineux. *Revue Générale des Routes Aérodromes*, 595, pp. 74-82.
- [39] Francken, L. & Clauwaert, C. (1987). Characterization and Structural Assessment of Bound Materials for Flexible Road Structures. Proc., 6th Int. Conf. on Structural Design of Asphalt Pavements, Ann Arbor, Mich.: Univ. of Michigan, pp. 130-144.
- [40] De La Roche, C. (1996). *Module de Rigidité et Comportement en Fatigue des Enrobés Bitumineux*. Ph. D. thesis, École Central de Paris.
- [41] Verstraeten, J. (1991). Fatigue of Bituminous Mixes and Bitumen Thixotropy. Marrakech: Proc., XIXth World Road Congress, Maroc, 766-769.
- [42] Sias, J. & Kim, Y.R. (2001). Laboratory Evaluation of Fatigue Damage and Healing the Asphalt Mixtures. *J. of Materials in Civil Eng.*, vol. 13, N.º 6, pp. 434-440.
- [43] Kim, Y.R., Lee, H.J., Sias, J. & Kim, Y. (1998). Laboratory and Field Evaluation of Fatigue Damage and Microdamage Healing. Final Rep., Contract N.º DTFH61-92-c-00170. FHAW.
- [44] Rivière, N. (1996). *Comportement en Fatigue des Enrobés Bitumineux*. Ph.D. thesis, Université de Bordeaux I.
- [45] Monismith, C.L., Secor, K.E. & Blackmer, E.W. (1961). Asphalt Mixture Behavior in Repeated Flexure. *J. Assoc. of Asphalt Paving Techn.*, vol. 30, pp. 188-215.
- [46] Taylor, I.F. (1968). *Asphaltic Road Materials in Fatigue*. Ph.D. thesis. U.K.: U. of Nottingham.
- [47] Brown, S.F. & Selig, E.T. (1991). The Design of Pavement and Rail Track Foundations. *Cyclic Loading of Soils*, Chapter 6, pp. 249-305.
- [48] Epps, J.A. (1969). Influence of Mixture Variables on the Flexural Fatigue and Tensile Properties of Asphalt Concrete. Ph. D. thesis. Berkeley: University of California.
- [49] Schmidt, R.J. & Santucci, L.E. (1969). The Effect of Asphalt Properties on the Fatigue Cracking of Asphalt Concrete on the Zaca-Wigmore Test Project. *Proc., Assoc. of Asphalt Paving Techn.*, vol. 3, pp. 39-64.
- [50] Hartman, M.A., Gilchrist, M.D. & Walsh, G. (2001). Effect of Mixture Compaction on Indirect Tensile Stiffness and Fatigue. *J. Transp. Engineering*, vol. 127, N.º 5, pp. 370-378.
- [51] Bonnot, J. (1997). Selection and Use of the Procedures for Laboratory Compaction of Bituminous Mixtures. *Performance Related Test Procedures for Bituminous Mixtures*, M. D. Gilchrist and A. M. Hartman (eds.), Dublin, Ireland: Boole Press, pp. 52-73.
- [52] Button, J.W., Little, D.N., Jagadam, V. & Pendleton, O.J. (1994). Correlation of Selected Laboratory Compaction Methods With Field Compaction. *Transportation Research Record*, TRB. Washington, D.C., N.º 1454, pp. 193-201.
- [53] Von Quintus, H.L., Scherocman, J.A., Hughes, C.W. & Kennedy, T.W. (1988). Development of Asphalt-Aggregate Mixture Analysis System: AAMAS. Rep. 338. Washington, D.C.: National Research Council, TRB.
- [54] Ullgren, M. (1996). Functional Testing of Asphalt Mixes for Permanent Deformation by Dynamic Creep Test; Modification of Method and Round Robin Test. Euroasphalt and Eurobitume Congress CD-ROM. Strasbourg, Germany: European Asphalt Pavement Assoc.
- [55] Harvey, J., Eriksen, K., Sousa, S. & Monismith, C.L. (1994). Effects of Laboratory Specimen Preparation on Aggregate-Asphalt Structure, Air Void Content Measurement, and Repetitive Simple Shear Test Results. *Transportation Research Record*, TRB. Washington, D.C., pp. 113-122.
- [56] Voskuilen, J.L.M. (1996). Influence of Compaction Methods on the Density Distribution of Asphalt Concrete Specimens. *Proc., Int. Workshop on Use of Gyrotory Shear Compactor, LCPC*. Nantes, France.
- [57] Bonnot, J. (1986). Asphalt Aggregate Mixtures. *Transportation Research Record*, TRB. Washington, D.C., pp. 42-50.
- [58] Van Dijk, W. (1975). Practical Fatigue Characterization of Bituminous Mixes. *Asphalt Paving Technologists*, vol. 44, pp. 38-74.
- [59] Sousa, J., Tayebali, J., Harvey, P., Hendricks, P. & Monismith,

- C.L. (1993). Sensitivity of Strategic Highway Research Program A-003A Testing Equipment to Mix Design Parameters for Permanent Deformation and Fatigue. *Transportation Research Record*, TRB, Washington, D.C., pp. 69-79.
- [60] Harvey, T.J., Deacon, J.A., Tsai, B.W. & Monismith, C.L. (1995). *Fatigue Performance of Asphalt Concrete Mixes and its Relationships to Asphalt Concrete Pavement Performance in California*. Rep. RTA-65W485-2. Berkeley: Institute of Transp. Studies, U. of California.
- [61] Bazin, P. & Saunier, J. (1967). Deformability, Fatigue and Healing Properties of Asphalt Mixes. *Proc., Second Int. Conf. on the Struct. Design of Asphalt Pav.*, U. of Michigan, pp. 553-569.
- [62] Pell, P.S. (1967). Fatigue Characteristics of Bitumen and Bituminous Mixes. *Proc., Int. Conf. on the Structural Design of Asphalt Pavements*. Ann Arbor: University of Michigan.
- [63] Pell, P.S. & Taylor, I.F. (1969). Asphaltic Road Materials in Fatigue. *Proc., The Association of Asphalt Paving Techn.*, vol. 38.
- [64] Seo, Y., El-Haggan, O., King, M., Lee, S.J. & Kim, R. (2007). Air Void Models for the Dynamic Modulus, Fatigue Cracking and Rutting of Asphalt Concrete. *J. Materials in Civil Eng.*, vol. 19, N.º 10, pp. 874-883.
- [65] Jimenez, R.A. & Gallaway, B.M. (1962). Behavior of Asphaltic Concrete Diaphragms to Repetitive Loadings. *Int. Conf. on the Structural Design of Asphalt Pavements*, 339.
- [66] Bell, C., Wieder, A. & Fellin, M. (1994). Laboratory Aging of Asphalt-Aggregate Mixtures: Field Validation. SHRP Report SHRP-A-390, NRC, Washington, D.C.
- [67] Ni, F., Wu, Z., Chen, R., Gu, X. & Dong, Q. (2007). A Laboratory Study on Cracking Potential of Binder Course Asphalt Mixtures used in Semi-Rigid Pavements. Analysis of Asphalt Pavement Materials and Systems: Emerging Methods (GSP 176), *Proc., of the 15th U.S. National Congress of Theor. and Applied Mech.*, pp. 102-116.
- [68] Kirk, J.M. (1967). Results of Fatigue Tests on Different Types of Bituminous Mixtures. *Proc., Second Int. Conf. on the Structural Design of Asphalt Pavements*, University of Michigan.
- [69] Maupin, G.W. (1970). Effect of Particle Shape and Surface Texture on the Fatigue Behavior of Asphaltic Concrete. Presented at the Annual Meeting of the Highway Research Board.
- [70] Kim, Y.R., Kim, N. & Khosla, N.P. (1992). Effects of Aggregate Type and Gradation on Fatigue and Permanent Deformation of Asphalt Concrete. ASTM STP 1147 Effects of Aggregates and Mineral Fillers on Asphalt Mixture Perf. Richard C. Meininger, (ed.), Philadelphia, ASTM.
- [71] Pell, P.S. (1962). Fatigue Characteristics of Bitumen and Bituminous Mixes. *In First Int. Conf. on the Struc. Design of Asphalt Pavements*. Ann Arbor, Michigan, United States, pp. 310-323.
- [72] Sibal, A., Das, A. & Pandey, B.B. (2000). Flexural Fatigue Characteristics of Asphalt Concrete with Crumb Rubber. *Int. J. Pavement Engineering*, vol. 1, N.º 2, pp. 119-132.
- [73] Wensheng, X., Wei, T. & Hui, L. (2009). Analysis of Thermal Stress Response in Asphalt Overlay. ICCTP 2009: Critical Issues in Transp. System Planning, Development, and Manag., *Proc. of the 9th Int. Conf. of Chinese Transp. Professionals*, pp. 2114-2121.
- [74] Vallerga, B.A., Finn, F.N. & Hicks, R.G. (1967). Effect of Asphalt Aging on the Fatigue Properties of Asphalt Concrete. *In Proc., Second Int. Conf. on the Structural Design of Asphalt Pavements*, Session IV.
- [75] Nesnas, K. & Nunn, M. (2004). A Model for Top-Down Reflection Cracking in Composite Pavements. *Proc., pro037: Cracking in Pavements: Mitigation, Risk Assess. and Prevention*, pp. 409-416.
- [76] Nesnas, K. & Nunn, M. (2006). A Thermal Pavement Response Model for Top-Down Reflection Cracking in Composite Pavements. Paper N.º 06-0127, Prepared for Presentation and Publication, at the 85th Annual Meeting of the TRB, Washington, D.C.
- [77] Esch, D.C. & Franklin, D. (1989). Asphalt Pavement Crack Control at Fairbanks International Airfield. *Proc. 5th Int. Conf. on Cold Regions Eng.*, New York, N.Y., pp. 59-69.
- [78] Kanerva, H.K., Vinson, T.S. & Zeng, H. (1994). Low-Temperature Cracking: Field Validation of the Thermal Stress Restrained Specimen Test. Strategic Hwy. Res. Program, Report SHRP-A-401, NRC, Washington, D.C.
- [79] Vinson, T.S., Zomerman, I. Berg, R. & Tomita, H. (1986). Survey of Airport Pavement Distress in Cold Regions. *Proc. 4th Int. Cold Regions Eng., Specialty Conf., ASCE*, New York, N.Y., pp. 41-50.
- [80] Kliewer, J.E., Zeng, H. & Vinson, T.S. (1996). Aging and Low-Temperature Cracking of Asphalt Concrete Mixture. *J. Cold Regions Engineering*, vol. 10, N.º 3, pp. 134-148.
- [81] Epps, A. (2000). Design and Analysis System for Thermal Cracking in Asphalt Concrete. *J. Transp. Eng.*, vol. 126, N.º 4, pp. 300-307.
- [82] Chen, D.H. (2007). Field and Lab Investigations of Prematurely Cracking Pavements. *J. Performance of Constructed Facilities*, vol. 21, N.º 4, pp. 293-301.
- [83] Ningli, L., Tiehu, L., Huaxin, C. & Zhengqi, Z. (2009). Evaluation of Low-Temperature Properties of Long-Term-Aged Asphalt Mixtures. Perf. Modeling and Evaluation of Pavement Systems and Materials (GSP 195), *Proc. GeoHunan Int. Conf.*, pp. 143-150.
- [84] Lundstrom, R., Di Benedetto, H. & Isacsson, U. (2004). Influence of Asphalt Mixture Stiffness on Fatigue Failure. *J. Materials in Civil Eng.*, vol. 16, N.º 6, pp. 516-525.
- [85] Lundstrom, R., Isacsson, U. & Ekblad, J. (2003). Investigation of Stiffness and Fatigue Properties of Asphalt Mixture. *J. Materials Science*, vol. 38, N.º 24, pp. 4941-4949.
- [86] Hajj, E.Y., Sebaaly, P.E. & Weitzel, D. (2005). Fatigue Characteristics of Superpave and Hveem Mixtures. *J. Transp. Eng.*, vol. 131, pp. 302-310.
- [89] K.E. Cooper & P.S. Pell. "The Effect of Mix Variables on the Fatigue Strength of Bituminous Materials". Transport and Road Research Laboratory Rep., N.º 633, TRRL, Crowthorne, U.K., 1974.
- [90] Pell, P.S. & Cooper, K.E. (1975). The Effect of Testing and Mix Variables on the Fatigue Performance of Bituminous Materials. *J. Assoc. of Asphalt Pav. Techn.*, vol. 44, pp. 1-37.
- [91] Finn, F., Saraf, C.L., Kulkarni, K., Nair, K., Smith, W. & Abdullah, A. (1977). Development of Pavement Structural Subsystems. Final Report, Project 1-10B.
- [92] Bonnaure, F., Gravois, A. & Udron, J. (1980). A New Method for Predicting The Fatigue Life of Bituminous Mixes. *Assoc. of Asphalt Paving Techn.*, vol. 49.
- [93] Monismith, C.L., Epps, J.A. & Finn, F.N. (1985). Improved Asphalt Mix Design. *J. Asphalt Paving Techn.*, 54, pp. 347-391.
- [94] Elliot, R. P. & Thompson, M. R. (1986). Mechanistic Design Concepts for Conventional Flexible Pavements. *Transportation Engineering Series N.º 42*, University of Illinois, Urbana, IL.
- [95] Thompson, M.R. (1987). ILLI-PAVE Based Full-Depth Asphalt Concrete Pavement Design Procedure. 6th Int. Conf. of Struc. Design of Asphalt Pav., I, U. of Michigan, Ann Arbor, 13-24.
- [96] TAI-The Asphalt Institute (1982). Research and Development of the Asphalt Institutes Thickness Design Manual. MS 1, 9th Ed. College Park, Md.
- [97] Nishizawa, T., Shimeno, S. & Sekiguchi, M. (1997). Fatigue Analysis of Asphalt Pavements with Thick Asphalt Mixture Layer. *In Eight Int. Conf. on Asphalt Pavements*, vol. 2, Proc., Seattle, WA.

- [98] Shell International Petroleum Company (1978). *Shell Pavement Design Manual, Asphalt Pavement and Overlays for Road Traffic*. London.
- [99] Van Dijk, W. & Visser, W. (1977). The Energy Approach to Fatigue for Pavement Design. *Asphalt Paving Techn.*, vol. 46, pp. 1-40.
- [100] Powell, W.D., Potter, J.F., Mayhew, H.C. & Nunn, M.E. (1984). *The Structural Design of Bituminous Roads*. TRRL, Report N.º 1132.
- [101] Brown, S.F. (1980). An Introduction to the Analytical Design of Bituminous Pavements. Department of Civil Eng., University of Nottingham.
- [102] Brown, S.F., Pell, P.S. & Stock, A.F. (1977). The Application of Simplified, Fundamental Design Procedures for Flexible Pavements. In *Fourth Int. Conf. on The Struc. Design of Asphalt Pavements*, vol. 1. Proc., Ann Arbor, MI.
- [103] Verstraeten, J., Romain, J.E. & Veverka, V. (1977). The Belgian Road Research Center's Overall Approach Structural Design. In *Fourth Int. Conf. on The Structural Design of Asphalt Pavements*, vol. 1, Proc. Ann Arbor, MI.
- [104] Verstraeten, J., Veverka, V. & Francken, L. (1982). Rational and Practical Design of Asphalt Pavements to Avoid Cracking and Rutting. In *Proc., 5th Int. Conf. on Struc. Design of Asphalt Pavements*, Delf U. of Technology.
- [105] Francken, L. & Verstraeten, J. (1974). Methods for Predicting Moduli and Fatigue Laws of Bituminous Road Mixes Under Repeated Bending. *Transportation Research Record*, Washington, D.C., N.º 515, pp. 114-123.
- [106] Ullidtz, P. (1977). Overlay and Stage by Stage Design. In *Fourth Int. Conf. Structural Design of Asphalt Pavements*, vol. 1, Proc., Ann Arbor, MI.
- [107] Myre, J. (1992). Fatigue of Asphalt Materials for Norwegian Conditions. In *Seventh Int. Conf. on Asphalt Pavements*, vol. 3, Proc., U.K.
- [108] Tayebali, A.A., Deacon, J.A., Coplantz, J.S. & Monismith, C.L. (1993). Modelling Fatigue Response of Asphalt-Aggregate Mixtures. *J. Assoc. Asphalt Paving Techn.*, vol. 62, pp. 385-421.
- [109] Carpenter, S.H. (2006). Fatigue Performance of IDOT Mixtures. Research Report FHWA-ICT-07-007, Illinois Center for Transportation.
- [110] El-Basyouny & Witczak, M. (2005). *Development of the Fatigue Cracking Models for the 2002: Design Guide*. Presented at the 84th Annual Meeting of the TRB.
- [111] Rondón, H.A. & Reyes, F.A. (2011). Influencia del medio ambiente sobre las propiedades mecánicas bajo carga repetida de una mezcla asfáltica. *Revista Ingeniería y Desarrollo* (remitido para evaluación).
- [112] Invías (Instituto Nacional de Vías) (2007). Especificaciones Generales para Construcción de Carreteras. Bogotá, D.C., Colombia.
- [113] Brunton, J.M., Brown, S.F. & Pell, P.S. (1987). Development of the Analytical Design Method of Asphalt Pavements. In *Sixth Int. Conf. on The Structural Design of Asphalt Pavements*, vol. 1, Proc., Ann Arbor, MI.
- [114] Pell, P.S. (1987). *Keynote Lecture-Pavement Materials. 6th International Conference of Structural Design of Asphalt Pavements*. Ann Arbor, Mich.: Univ. of Michigan.

El agua como vehículo de microorganismos patógenos.

Bacteria *Escherichia coli*

Water as a vehicle of pathogenic microorganisms. Bacteria *Escherichia coli*

GLADYS ROCÍO GONZÁLEZ LEAL

Bióloga de la Pontificia Universidad Javeriana, especialista en Microbiología de la Universidad de los Andes, coordinadora del Laboratorio de Ingeniería Ambiental y profesora asistente de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

Recibido: 15/03/2011 Aceptado: 25/03/2011
Disponible en <http://www.escuelaing.edu.co/revista.htm>

Resumen

El agua es catalogada como uno de los principales vehículos de transmisión de enfermedades; la mayoría de los patógenos intestinales se transmiten por esta vía, habitan el tracto gastrointestinal del ser humano y son eliminados posteriormente en las heces.

En este artículo se muestran las enfermedades de origen hídrico más recurrentes con sus respectivos agentes causantes, se definen microorganismos emergentes, microorganismos oportunistas, grupo coliforme como grupo indicador de contaminación, se presenta la *Escherichia coli* como la bacteria de origen fecal de mayor impacto en salud pública y algunos factores que influyen en la persistencia de los microorganismos en el agua.

Palabras claves: microorganismos del agua, impacto en salud pública, patógeno, coliformes totales, coliformes fecales, *Escherichia coli*, persistencia de los microorganismos.

Abstract

Water is one of the most important vehicles of diseases transmission; the intestinal pathogens are transmitted in this way. They live in humans' gastrointestinal track; and later they are eliminated in the feces.

This paper shows the main waterborne diseases and their causing agents, and defines emergent microorganisms, opportunistic microorganisms, and the coliform group, which indicates contamination. The paper also shows that *Escherichia coli* is a bacteria of fecal origin that impacts public health and some factors that influence the persistence of microorganisms in water.

Keywords: microorganisms in water, public health impact, pathogen, total coliforms, fecal coliforms, *Escherichia coli*, persistence of microorganisms.

INTRODUCCIÓN

En el mundo, el creciente aumento de las poblaciones ha hecho que la demanda del agua sea cada vez mayor, no solo para consumo humano sino para uso recreacional, agrícola, industrial y para la generación de energía. El vertimiento de aguas residuales domésticas, industriales y agrícolas a otros cuerpos de agua crea problemas serios de contaminación tanto química como microbiológica; el rápido crecimiento de los microorganismos, su fácil adaptabilidad a condiciones ambientales adversas y su gran diversidad permiten que organismos patógenos encuentren un hábitat ideal en el agua e ingresen al ser humano, teniendo así un gran impacto en salud pública.

El agua, sin lugar a dudas, es un medio que posee las condiciones que permiten el crecimiento de organismos de cualquier tipo, ya sean bacterias, protozoos, algas, hongos, virus, plantas y animales; las características físicas y químicas del agua definen el tipo de microorganismos que la habitan, de acuerdo con los requerimientos nutricionales de éstos y con su capacidad de adaptación.

Las enfermedades de origen hídrico pueden ser causadas por cualquiera de los grupos mencionados; su incidencia es alta, especialmente en los países en desarrollo.

Según informes de la Organización Mundial de la Salud (OMS), las enfermedades diarreicas matan a 1,5 millones de niños cada año; en Estados Unidos, la US Environmental Protection Agency (Usepa) y el Centro de Control y Prevención de Enfermedades (CDC) son las entidades encargadas de monitorear y mantener programas de vigilancia epidemiológica. Un análisis de los patrones de morbilidad y mortalidad por enfermedades intestinales debido al consumo de agua contaminada sugirió más de 230.000 casos de enfermedades y alrededor de 50 muertes al año⁽¹⁾.

En Colombia, la enfermedad diarreica aguda (EDA) es una de las principales causas de muerte en niños menores de cinco años, y aunque las muertes han disminuido, la morbilidad ha aumentado notablemente; enfermedades como el cólera, fiebre tifoidea, amibiasis y hepatitis transmitidas por agua contaminada son causantes de morbilidad y mortalidad no sólo en niños sino en ancianos, mujeres embarazadas y personas inmunocomprometidas^{(2), (3), (4)}.

Por lo anterior, se requiere implementar sistemas de saneamiento básico adecuados; descontaminar los re-

ursos hídricos por medio de la construcción de plantas de purificación y tratamiento de aguas residuales más eficientes, monitorear sistemas de distribución, aplicar técnicas de detección de organismos indicadores de contaminación, hacer estudios epidemiológicos que conduzcan a encontrar soluciones, y lograr el mejoramiento y la implementación de nuevas técnicas de tratamiento en las plantas purificadoras de agua para reducir ampliamente el riesgo de contraer enfermedades por consumo de agua contaminada.

PATOGENICIDAD

La patogenicidad se define como la capacidad de un microorganismo de producir enfermedad, capacidad que se relaciona con la cantidad del agente necesaria para infectar al huésped; de allí se deriva el término MID o mínima dosis infectiva (mínima cantidad de patógeno que entra al huésped para producirle enfermedad)⁽⁵⁾. La MID varía según el tipo de patógeno, las condiciones ambientales y las condiciones inmunológicas del huésped; a continuación se presenta la MID de algunos organismos patógenos (tabla 1)^(6,7, 1).

Tabla 1
Mínima dosis infectiva de algunos organismos patógenos transmitidos por el agua

Microorganismo	Mínima dosis infectiva (MID)
<i>Escherichia coli</i>	10 ⁶ a 10 ⁸ células
<i>Salmonella</i>	10 ⁴ a 10 ⁷ células
<i>Vibrio cholerae</i>	10 ⁸ a 10 ⁹ células
<i>Cryptosporidium</i>	30 ooquistes
<i>Entamoeba histolytica</i>	10 ¹ quistes
Helmintos	1 a 10 huevos
Virus	1 a 10 UFP

MICROORGANISMOS EMERGENTES

En los últimos 20 años, los cambios ambientales drásticos, el incremento exagerado de las poblaciones, el desplazamiento de personas a lugares que anteriormente no habían sido habitados, el aumento de la pobreza, el transporte de animales y alimentos contaminados, el incumplimiento de las medidas sanitarias y los programas

inadecuados de vacunación, entre otros; a esto se añade la gran diversidad de microorganismos y las mutaciones sufridas por éstos que les permiten ser más resistentes, lo que ha traído como consecuencia el surgimiento de enfermedades llamadas emergentes.

Una enfermedad emergente es aquella cuya incidencia ha aumentado en las últimas décadas y cuyas tasas de mortalidad y morbilidad son cada vez mayores, creando elevados costos, de gran impacto en salud pública⁽⁸⁾.

Los microorganismos emergentes son organismos que ya existían pero que aumentaron su incidencia y habitan lugares geográficos en los que antes no se encontraban; son organismos oportunistas y flexibles biológicamente debido a su capacidad de adaptación. Entre estos microorganismos encontramos bacterias, protozoos, hongos, helmintos y virus; muchos de éstos, especialmente los virus, se han logrado identificar por nuevas tecnologías, gracias a lo cual se ha podido conocer que el número de enfermedades transmitidas por vía hídrica se ha incrementado considerablemente⁽⁹⁾.

MICROORGANISMOS OPORTUNISTAS

Un microorganismo oportunista es aquel que produce enfermedad a las personas más susceptibles de ser colonizadas por microorganismos, como los recién nacidos, los ancianos y los enfermos.

Estos microorganismos se pueden encontrar en el ambiente o en el ser humano, formando parte de su microflora intestinal sin producir enfermedad; pero cuando el huésped presenta alteraciones en sus mecanismos de defensa estos organismos atacan, ocasionando graves enfermedades y en muchas ocasiones la muerte. Entre los organismos oportunistas están las bacterias, los virus, los protozoos, los helmintos y los hongos.

ENFERMEDADES TRANSMITIDAS POR AGENTES PATÓGENOS PRESENTES EN EL AGUA

Los principales grupos de organismos productores de enfermedad en el ser humano son bacterias, virus, protozoos y helmintos. De acuerdo con el organismo productor, se dividen en:

1. *Enfermedades de etiología bacterial.* A renglón seguido se presentan las enfermedades de origen bacterial de mayor incidencia y su agente causal (tabla 2).

Tabla 2
Enfermedades de etiología bacterial

Enfermedad	Bacteria patógena
Fiebre tifoidea	<i>Salmonella typhi</i>
Fiebre paratifoidea	<i>Salmonella paratyphi</i>
Cólera	<i>Vibrio cholerae</i>
Disentería bacilar	<i>Shigella</i>
Gastroenteritis	<i>Klebsiella</i>
Gastroenteritis	<i>Yersinia enterocolitica</i>
Gastroenteritis	<i>Escherichia coli</i> enteropatógena
Legionelosis	<i>Legionella pneumophila</i>
Leptospirosis (enfermedad de Weil)	<i>Leptospira</i>
Infecciones oculares, otitis, osteomielitis, diarrea	<i>Pseudomonas</i>
Gastritis y úlceras	<i>Helicobacter pylori</i>

2. *Enfermedades de etiología protozoaria.* A continuación se registran las enfermedades de mayor incidencia causadas por protozoos (tabla 3)^(10,11).

Tabla 3
Enfermedades de etiología protozoaria

Enfermedad	Protozoo patógeno
Disentería	<i>Balantidium coli</i>
Amibiasis	<i>Entamoeba histolytica</i>
Giardiasis	<i>Giardia lamblia</i>
Encefalitis granulomatosa amébrica	<i>Acanthamoeba</i>
Toxoplasmosis	<i>Toxoplasma gondii</i>
Meningoencefalitis amébrica primaria (PAM)	<i>Naegleria fowleri</i>
Cryptosporidiosis	<i>Cryptosporidium parvum</i>

3. *Enfermedades de etiología helmíntica.* Seguidamente se presentan algunas enfermedades causadas por helmintos (tabla 4)⁽⁴⁾.

Tabla 4
Enfermedades de etiología helmíntica

Enfermedad	Helminto patógeno
Ascariasis (obstrucción intestinal)	<i>Ascaris lumbricoides</i>
Trichuriasis (intestino)	<i>Trichuris trichiura</i>
Cisticercosis (intestino y sistema nervioso central)	<i>Taenia solium</i>
Teniasis (tracto gastrointestinal)	<i>Taenia saginata</i>

4. *Enfermedades de etiología viral.* En seguida se presentan algunas enfermedades causadas por virus (tabla 5)⁽¹²⁾.

Tabla 5
Enfermedades de etiología viral

Enfermedad (afecciones)	Virus
Poliomielitis (parálisis flácida)	<i>Poliovirus</i>
Miocarditis, meningitis, tracto respiratorio	<i>Coxsackievirus</i>
Gastroenteritis, meningitis, infecciones respiratorias, miocarditis	<i>Echovirus</i>
Meningitis, infecciones respiratorias	<i>Enterovirus</i>
Gastroenteritis infantil, tracto respiratorio, neumonía, faringitis, bronquitis, otitis, conjuntivitis, resfriado común	<i>Adenovirus</i>
Gastroenteritis	<i>Astrovirus</i>
Gastroenteritis infantil aguda	<i>Rotavirus</i>
Gastroenteritis	<i>Calicivirus (Norwalk)</i>
Hepatitis infecciosa	<i>Hepatitis A</i>

5. *Enfermedades de etiología fúngica.* Debido a que la incidencia de enfermedades graves por hongos es muy baja, es poco o casi nulo lo que se menciona respecto a hongos patógenos de origen hídrico⁽⁷⁾.

Alrededor de 50 especies de hongos son capaces de producir enfermedad en el hombre, la mayoría son oportunistas que afectan a personas inmunocomprometidas. Éstos pueden ocasionar alergias, envenenamiento por micotoxinas o micosis (infección por la multiplicación de un hongo dentro del cuerpo o sobre éste). Su distribución es cosmopolita, se transmiten por contacto con superficies contaminadas, como baños y suelos húmedos y por esporas esparcidas en el aire.

En un estudio realizado por investigadores de la

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UBA (Universidad de Buenos Aires), se encontró la presencia de hongos filamentosos en muestras de aguas minerales embotelladas de diferentes marcas; algunos de estos hongos podrían ser potenciales productores de toxinas, pero lo que no se conoce aún es si podrían producirlas dentro de la botella, afectando la salud del ser humano⁽¹³⁾.

Se cree que las esporas llegan al agua en el momento del embotellamiento y que éstas se desarrollan debido a los nutrientes presentes en el agua; adicionalmente, los tratamientos con cloro y ozono no afectan las esporas⁽¹⁴⁾.

Es importante destacar que la contaminación fúngica no se toma en cuenta en muchas de las normas de calidad microbiológica del agua, lo cual es preocupante debido a que en el estudio mencionado se encontró la presencia de hongos en aguas con ausencia total de bacterias.

GRUPO COLIFORME

El Servicio de Salud Pública de Estados Unidos⁽⁶⁾ postuló en 1914 al grupo *Coliforme* como grupo bacteriano por excelencia, indicador de contaminación fecal.

Éste se define como un grupo de bacterias en forma de bacilo, pertenecientes a la familia *Enterobacteriaceae*, gram negativas, aerobias y anaerobias facultativas, que no forman esporas, con capacidad de fermentar la lactosa y otros azúcares, con producción de ácido y de gas a una temperatura entre 35 y 37 °C durante un periodo de 24 a 48 horas.

Entre las principales características de este grupo está su resistencia a condiciones ambientales adversas, la cual es igual o superior a la de los patógenos; además se comportan de manera similar a éstos, se encuentran también en el intestino de animales de sangre caliente, siendo esto un buen indicador de polución animal⁽⁷⁾. Adicionalmente, los coliformes se pueden encontrar en el suelo, viviendo como saprofitos independientes; en esta forma, para separar los géneros de origen fecal de los saprofitos independientes, se les dio el nombre a los primeros de *coliformes fecales* y a los segundos de *coliformes totales*.

1. Los *coliformes totales* son poco prácticos como indicadores de contaminación fecal, su uso se ha limitado a evaluar la calidad de agua de consumo humano; es

útil su determinación en cuanto nos informan o nos advierten de la existencia de contaminación, pero sin identificar su origen; además, permiten evaluar si se presentaron fallas en las etapas del proceso de purificación del agua en la planta o fallas en las redes de distribución, y de esa manera alertar a las entidades encargadas de la vigilancia del recurso hídrico.

2. Los *coliformes fecales* son el grupo indicador fecal por excelencia debido a que reflejan con mayor exactitud la contaminación de este tipo en un cuerpo de agua.

Las bacterias pertenecientes a este grupo tienen una característica adicional, que es su capacidad de producir gas o formar colonias a una temperatura de incubación de $44,5 \pm 0,2 \text{ }^\circ\text{C}^{(15)}$; se pueden reproducir fuera del intestino en las redes de distribución, formando biopelículas, o en cuerpos de agua donde hay condiciones favorables de pH, contenido de materia orgánica, humedad, entre otros; algunos son típicos de aguas con residuos vegetales⁽⁸⁾. Su determinación es muy útil en aguas superficiales y en la evaluación de la eficiencia de plantas de tratamiento de agua residual.

GÉNEROS DEL GRUPO COLIFORME

Los géneros pertenecientes al grupo *Coliforme* son *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Citrobacter* y *Escherichia*.

- *Klebsiella*. Bacteria de origen fecal que forma biopelículas en tanques de almacenamiento y redes de distribución.
- *Enterobacter*. No siempre se encuentra asociado al intestino, es oportunista y afecta especialmente el tracto urinario y el respiratorio; se encuentra en el suelo, en el agua y en el aparato digestivo.
- *Citrobacter*. Se halla en el suelo, comida, agua, y en el tracto intestinal de humanos y animales.

Bacteria *Escherichia coli*

Es la bacteria más representativa de los coliformes fecales. Miembro de la familia *Enterobacteriaceae*, se encuentra en gran cantidad en heces humanas y animales, es gram negativa de forma bacilar, aeróbica y anaeróbica facultativa, con un tamaño aproximado de 0,5 a 2 micras; es indicadora de contaminación con materia fecal y de la presencia de patógenos en el agua.

Por su rápido crecimiento, sus requerimientos nutricionales simples y su constitución bioquímica, se ha usado en ingeniería genética; de allí que es considerada una de las bacterias líderes de la biotecnología actual.

La *Escherichia coli* posee muchas cepas, aunque la mayoría son relativamente inocuas pero pueden causar infecciones oportunistas; por otro lado, las especies patógenas están involucradas en infecciones urinarias y gastrointestinales que pueden ocasionar la muerte⁽¹⁾.

Las especies patógenas han sido clasificadas en seis grupos, a saber:

Escherichia coli enteropatógena (EPEC), *Escherichia coli* enterotoxigénica (ETEC), *Escherichia coli* enterohemorrágica (EHEC), *Escherichia coli* enteroinvasiva (EIEC), *Escherichia coli* enteroagregativa (EAaggEC) y *Escherichia coli* adherente difusa (DAEC)⁽¹⁾.

La *E.coli* enteropatógena produce diarreas pasajeras, asociadas a infantes con alto índice de mortalidad; la *E.coli* enterotoxigénica ocasiona diarreas severas, con vómito, náuseas y cólicos debido a las toxinas que posee; la *E.coli* enterohemorrágica produce diarreas con sangrado; la *E.coli* enteroinvasiva causa diarreas similares a las producidas por *Shigella*; en cuanto a la *E.coli* enteroagregativa, se tiene muy poco conocimiento de la forma de transmisión⁽¹⁶⁾.

El hombre es el principal reservorio de las especies patógenas de *E.coli*, excepto de la EHEC, cuyo principal reservorio es el ganado bovino. La ruta principal de transmisión es la oral-fecal, por consumo de comida y agua contaminadas. La contaminación de agua recreacional y de agua potable con agua residual ha sido una de las principales causas de epidemias⁽¹⁷⁾.

Se han reportado innumerables brotes de enfermedades gastrointestinales por *Escherichia coli* en personas muy jóvenes o muy viejas; una de las más importantes epidemias por *E.coli* ocurrió en Oregón en 1975, donde alrededor de 2000 personas sufrieron trastornos gastrointestinales; la principal causante fue la ETEC aislada de agua contaminada⁽¹⁾.

En Colombia, la epidemiología de *E.coli* está estrechamente relacionada con la enfermedad diarreica aguda (EDA).

La *E.coli* enterohemorrágica O157:H7 tiene gran relación con enfermedades transmitidas por el agua. En el mes de mayo de 2011 se reportaron casos de morbilidad y mortalidad por síndrome urémico hemolítico (SUH), atribuido a la bacteria *Escherichia coli* enterohemorrágica,

la cual fue hallada en semillas germinadas procedentes de una granja ecológica en Alemania, lo que generó gran impacto en la salud pública^(17,18).

Según estudios realizados por científicos alemanes cuya publicación aparece en *The Lancet Infectious Diseases* en el mes de junio, la *E. coli* que está ocasionando la muerte de muchas personas es una combinación de dos variantes que forman la nueva cepa 0104:H4. Esta variante es producto de la unión de *E. coli* enterohemorrágica con *E. coli* enteroagregativa, lo cual la hace mucho más agresiva por la toxina *Shiga* aportada por la *E. coli* enterohemorrágica y la capacidad de la *E. coli* enteroagregativa de adherirse fuertemente al intestino; además, esta cepa es resistente a algunos antibióticos. La muerte de los individuos es ocasionada por el SHU (síndrome urémico hemolítico) debido a insuficiencia renal, anemia hemolítica, alteraciones del corazón, sistema nervioso central y trombocitopenia todos unidos⁽¹⁹⁾.

PERSISTENCIA DE LOS MICROORGANISMOS EN EL AGUA

Los microorganismos responden de manera diferente a las condiciones ambientales a las cuales están expuestos. Un factor ambiental determinado puede ser un limitante para el crecimiento de un microorganismo o un beneficio para el crecimiento de otro. Así, la persistencia de un microorganismo en el agua depende de factores tales como:

1. *Tipo de microorganismo.* Los microorganismos poseen estructuras protectoras que les permiten tolerar cambios ambientales drásticos, sustancias tóxicas, desinfectantes y antibióticos, entre otros. Los protozoarios son organismos muy resistentes por su capacidad de enquistamiento; las bacterias poseen esporas, las cuales son formas de perdurabilidad frente a sustancias químicas, desecación o radiación; anteriormente se creía que los virus no persistían mucho tiempo en el ambiente fuera de las células hospederas, pero en varios estudios se ha demostrado que todos los grupos de microorganismos pasan por cambios generacionales en muy corto tiempo, desarrollando así una capacidad de resistencia muy grande⁽²⁰⁾.
2. *Características físicas y químicas del agua.* Entre los factores ambientales que afectan o favorecen el

crecimiento y la viabilidad microbiana en el agua están la temperatura, la luz, la turbiedad, el pH, la disponibilidad de oxígeno, la salinidad, la materia orgánica disuelta y la presencia de sustancias tóxicas. Estos factores influyen en la composición y el tamaño de las poblaciones, en la morfología, fisiología, metabolismo y reproducción de cada organismo en particular, y hacen que la persistencia o supervivencia de los microorganismos en los cuerpos de agua sea muy variable.

3. *Características biológicas.* La interacción entre los diversos microorganismos que componen una comunidad biológica tiene un efecto tal que puede favorecer el crecimiento de unos microorganismos e inhibir el desarrollo de otros, así como también los productos metabólicos, la competencia y la depredación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AWWA (1999). *Waterborne Pathogens. Manual M48* (1.ª ed.). Denver: American Water Works Association.
2. Cáceres, D.C., Estrada, E., De Antonio, R. & Peláez, D. (2005). La enfermedad diarreica aguda: un reto para la salud pública en Colombia. *Panamericana de Salud Pública*, 17, 1.6-14.
3. *Pan American Journal of Public Health* (2006, enero). *Panamericana de Salud Pública*, 10, 54-55.
4. AWWA (2006). *Manual M48: Waterborne Pathogens* (2.ª ed.). American Water Works Association.
5. Abello, Polo V., Hernández, J.I., Medina, O.A., Pacheco, J.O. & Río, D.I. (2002). Detección de *Legionella pneumophila* como agente etiológico de neumonía grave adquirida en la comunidad. *Repertorio de Medicina y Cirugía*, 11, 3.
6. Bitton, G. (1994). *Wastewater Microbiology*. New York: Wiley-Liss.
7. Madigan, M.T., Martinko, J.M. & Parker, J. (1999). *Brock Biología de los Microorganismos* (8.ª ed.). Madrid: Prentice Hall.
8. Delgado, C. & Garrido, S. (2003). *Agua potable para comunidades rurales, reúso y tratamientos avanzados de aguas residuales domésticas. "Indicadores de contaminación fecal en aguas"*, cap. 20. Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración del agua. Ciencia y tecnología para el desarrollo (Ripda-Cyted).
9. Weng Alemán, Z. & Suárez Pita, M.T. (2011). Enfermedades emergentes y reemergentes: factores causales e impacto social. *Revista de Ciencias Médicas de La Habana*, 17 (1).
10. Jorge M. G.G., Fabiana, L., Luz H. H., Shirley M. & Jorge E. G.M. (2005). Prevalencia de giardiasis y parásitos intestinales en preescolares de hogares atendidos en un programa estatal en Armenia, Colombia. *Salud Pública*, 783, 327-338.
11. Solarte, Y., Peña, M. & Madera, C. (2006, enero - marzo). Transmisión de protozoarios patógenos a través del agua para consumo humano. *Colombia Médica*, 37, 1.
12. Gutiérrez, M.F., Urbina, D. & cols. (2005). Comportamiento de la diarrea causada por virus y bacterias en regiones cercanas a la zona ecuatorial. *Colombia Médica*, 36, 4.
13. Di Marzio, W.D., Sáenz, M.E., Tortorelli, M.C. & Alberdi, J.L. (1999). Bulking filamentoso en seis sistemas depurativos por lodos activados de la Provincia de Buenos Aires. *Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Aidis*, 46, 82 - 86.

14. Gallardo, S. (2001, octubre). Aguas envasadas. Disponible en http://web.fcen.uba.ar/prensa/noticias/2001/noticias_2oct_2001.htm.
15. Metcalf & Eddy (1996). *Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización* (3.ª ed.), t. I. Estados Unidos: McGraw Hill.
16. Rodríguez-Ángeles, Guadalupe (2002). Principales características y diagnóstico de los grupos patógenos de *Escherichia coli*. *Salud Pública*, 44, 5, 464-475.
17. Gómez, D. et ál. (2005). Aislamiento de *Escherichia coli* productor de toxina *Shiga* durante un brote de gastroenteritis en un jardín maternal de la ciudad de Mar del Plata. *Rev. Argent. Microbiol.*, 37, 4, 176-183.
18. Rivero, Mariana A., Padola, Nora L., Echeverría, Analía I. & Parma, Alberto E. (2004). *Escherichia coli* enterohemorrágica y síndrome urémico hemolítico en Argentina. *Medicina* (B. Aires), 64, 4, 352-356.
19. Bielaszewska, Martina, Mellmann, Alexander, Zhang, Wenlan, Kock, Robin, Fruth, Angelika, Bauwens, Andreas, Peters, Georg & Karch, Helge (2011). Characterisation of the *Escherichia coli* strain associated with an outbreak of haemolytic uraemic syndrome in Germany: a microbiological study. *The Lancet Infectious Diseases*, 23 June DOI: 10.1016/S1473-3099(11) 70165-7.
20. Llambias Wolff, Jaime (2003). Los desafíos inconclusos de la salud y las reflexiones para el futuro en un mundo globalizado. *Rev. Cubana Salud Pública*, 29, 3, 236-245.

Unite your corporate links of knowledge and boost the team's impact in the enterprise

LUIS ALEJANDRO ZORRILLA¹ Y PAULA ANDREA LAGO²

1. Worldwide Engineering.Major Projects Dept. Occidental Oil and Gas Corp. Houston, Texas. alejandro_zorrilla@oxy.com

2. Research Professor. Universidad Sergio Arboleda. Bogotá, Colombia. Paula.lago@correo.usa.edu.co.

Recibido: 15/03/2011 Aceptado: 28/03/2011

Disponible en <http://www.escuelaing.edu.co/revista.htm>

Abstract

We discuss how knowledge can become an asset for the enterprise when everybody is engaged in the process of teaching and learning. A case study is presented to illustrate how better solutions are designed when different perspectives and especially when different links of knowledge are joined. No matter how much experience you have, you can always improve a process if given the right guidance.

Keywords: knowledge, innovation, enterprise knowledge.

I. INTRODUCTION

One common concern inside enterprises is to keep knowledge gained through time and experience within the enterprise even though people leave or are no longer part of a team. Knowledge Management Systems have aroused from this concern making it easier for enterprises to maintain knowledge in ways that enable learning especially for newcomers.

However, we have the need of learning how to make this knowledge valuable for the enterprise. This means, using it for solving new problems in innovative ways. What usually happens is that the knowledge inside the enterprise is specific to the problems in the past and to particular projects and theoretical knowledge is so broad that it still needs to be applied to the problems in the enterprise. The former is also not up-to-date since the introduction of new technologies and advances is difficult and a slow process in enterprises.

We need a link between the specific knowledge produced inside the enterprise and the general, broad and up-to-date knowledge to find innovative solutions that are easy to implement inside an enterprise. We can achieve this by valuing everybody's knowledge, giving everybody the opportunity to teach it and to collaborate with others. We therefore propose a **methodology** to share knowledge among teams and people of different experiences inside enterprises to find the links that will use the experience of the enterprise and the latest advances in the field to add value to the business. We can apply this methodology online and offline so a system that implements it can be designed in the future.

The remainder of this paper is organized as follows: Section 2 describes how enterprises have managed knowledge and how social systems work to promote its flux. Section 3 outlines the proposed methodology and Section 4 presents an experience with it. Finally, in Section 5 we conclude this work.

II. SOCIAL AND LEARNING SYSTEMS FOR ENTERPRISES

Knowledge innovation is described by He, Xiang and Chen as the process of innovating in "every aspect of the enterprise" through knowledge [1]. The importance of knowledge and knowledge in innovation for the enterprise is discussed and accepted by various authors. A survey on the processes of innovation in modern enterprises is presented [2] "from four aspects:

knowledge entity of enterprise, knowledge innovation process, information technology tools of knowledge innovation and organizational management of knowledge innovation". However, a methodology on how to keep knowledge flowing through the various levels of the enterprise and how to engage everyone in the innovation process is not presented even though its importance is stressed in research.

III. METHODOLOGY

The core of the proposal is that everybody has something to teach others and can explain it. Inside an enterprise, many different types of knowledge meet, especially in terms of experience. On the one side, usually people with the less experience is underestimated because we believe that until they have not gained the experience and understand the enterprise and its problems, they cannot generate real value for it. Nevertheless, they are the ones with the knowledge of new technologies or breakthroughs in their fields since they are just out of academia. On the other side, people with a large experience have great insight on the enterprise and its most important problems. These are just two links of a big one to innovative solutions in the enterprise.

To find this jointure, to create spaces where they can collaborate and communicate freely, without the restrictions of a hierarchy, is important. This corresponds to a two-part process: Technique to experience and experience to technique. In the first part, people with less experience (pawn-link) are required to prepare a class for everybody on a topic that they are passionate about and, preferably, is a breakthrough or latest technology. The ones with more experience (expert-link) must ask questions that require an analysis and create challenges for their colleagues.

This will be done on a regular basis, weekly it is recommended. This way, the enterprise guarantees a flux of knowledge and everybody is updated in different topics. Through the questions asked by experts, the necessary outcome is to find applications of the topics in areas that constitute problems in the enterprise. We call this links of knowledge because what this creates is a link between very specific enterprise knowledge and broad, global and up-to-date knowledge.

Whenever a person or a team finds how to turn this knowledge into a solution, we say we have found a key-link. Table 1 describes the different links, their characteristics and contributions to the enterprise and the overall process of learning and finding innovative solutions.

The second part consists in exactly the opposite. The experts are required to present a case study from the enterprise, expose a situation that demands a solution or a status-quo that is outdated and a legacy from the past. Pawns (no-expertise) will make questions that oblige the experts to put what they know in very easy terms, perhaps eliciting a process they have internalize so much they are not aware of it.

This process ensures that everybody explains what he or she knows and feels valued and useful for his or her enterprise. By eliminating the barriers that experience sometimes builds, a friendlier environment is

created where collaboration and creativity emerge naturally. Knowledge flows among all links and innovative solutions come out..

IV. CASE STUDY

A given enterprise, which business core is problem solving, is having some difficulties finding robust solutions that add value and create competence in the market. The company consists of teams that are focused on specific areas, the case study had its focus randomly, in one of those teams that have the hierarchical structure shown in Table 2.

Studying the team, and focusing on the core of the proposal: "everybody has something to teach others and can explain it", the manager was encouraged to follow a program designed to find solutions to daily issues that generate big inefficiencies through the time.

Table 1
Links of Knowledge

Link	Characteristics	Contributions
Pawn-Link	Just out of college or university. Very academic knowledge Knows "how things should be" Few or no experience in industry	Knowledge of latest technologies and breakthroughs but without knowledge of how to apply them.
Expert-Link	Very large experience. Knowledge of industry standards, legal environment, problems and present situation	Provides insight of enterprise core problems that, if solved, would add value for the business.
Key-Link	Great communicator and abstraction capacity Understands the enterprise and is able to comprehend its problems.	Will join both previous links to create an innovative solution that adds value to the enterprise.

Table 2
Structure of the team

Team Member	Characteristics	Contributions
Manager	Team's Leader, make decisions and evaluates the performance of each member. Shapes the roles	Responsible for the focus of the team. Global vision of the business.
Sr.	The one with more specific knowledge of the business. Technical, standards.	Provides insight of enterprise core problems that, if solved, would add value for the business.
Mid.	The one that has all the skills to bring value to the company. Full of energy and knowledge.	Has the skills to communicate fluently with the whole team.
Jr.	Just join the company full of expectations to learn the business and apply the knowledge.	Its power lays in the tools he can use to create and optimize solutions.

The program was meant to uncover potential opportunities that can shape the role of the employees (instead of having a preset role, that may underutilize capabilities) and get the most of each member to work in a single direction – the manager’s enterprise vision.

The manager talked to the individuals and asked each of them to make a presentation of the particular perspective of the business and a particular presentation of the core of its role, for academic purposes. The presentations locate each of the members where they see themselves, exposing their capabilities and give the manager the opportunity to realize the concordance with his particular idea of the roles.

With this particular self-definition of the roles, it was time to ask them to present the academic focus of the projects in which they were actively working on to unite any knowledge between the links. By doing this, any experience (academic or enterprise) on the particular topic was exposed and the right person was reached in the right time, enriching its possible solutions. It was more like a game for them than a formal conference, to create an environment of social learning. At the end of each presentation, everyone wrote ideas of possible alternatives or applications.

The results were unexpected, without having a particular issue to solve in the very beginning; better paths to follow were discussed and implemented.

As an example: One of the tasks of the Senior members was to develop a report every month. In this report, lot of data was involved, but due to the lack of expertise in applied use of software, it was very tedious to create. When the senior exposed this issue to the team, a junior member exposed the possibility of automate it, being the daily data the input to create the report automatically.

With this project of simple automation, worthless situations aroused and the junior member reshaped his role.

A. The links of knowledge

To be able to automate the report, the member with little experience (pawn-link) needed to fully understand the data to create valuable information and the experience of the meaning of this data was transfer from an expert creating a link. The pawn-link after implementing this solution is surely able to become a key-link because of its knowledge transfer from the expert-link. He will provide solutions with a global perspective of the business and new capabilities hidden were uncovered.

The senior members (expert-link) will use the time in providing valuable experience, not in dealing with apply tech-issues, and then everybody in the team began to realize who knows what you need, uniting the corporate links of knowledge and boosting the team’s impact in the enterprise.

V. CONCLUSIONS

By involving different levels of expertise in a continuous process of learning and by letting every employee teach what they know, an environment of collaboration and equality is created. This facilitates innovation. Uniting the experience and the academic knowledge in the enterprise creates challenging situations for both experts and non-experts to find solutions that create value for the business.

VI. REFERENCES

- [1]. He, Shenghui, Xiang, Chaoyang y Chen, Lei. *Research on Knowledge Management in Enterprise*. 2009.
- [2] Wen Xingqi. Review of Research on Modern Enterprise Knowledge Innovation. International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation 2008.



Simposio de Economía "Las Fisuras del Sistema Capitalista"

Invitados especiales

- **Michael Perelman**
Ph.D. Profesor Titular de la Universidad Estatal de California, sede Chico
- **Eduardo Sarmiento Palacio**
Ph.D. Profesor titular y director del Centro de Estudios Económicos de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito

Otros Invitados

- **Alberto Castrillón**
Universidad Nacional de Colombia
- **Germán Umaña**
Profesor universitario
- **Isidro Hernández**
Universidad Externado de Colombia y Escuela Colombiana de Ingeniería
- **Irma Baquero Haeblerlin**
Escuela Colombiana de Ingeniería
- **José Félix Cataño**
Universidad de los Andes
- **Luis Armando Blanco**
Universidad Externado de Colombia
- **Mauricio Pérez**
Universidad Externado de Colombia

El programa de Economía de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito llevó a cabo el simposio "Las fisuras del sistema capitalista" los días 7 y 8 de abril del presente año. En él, economistas colombianos de reconocido prestigio en investigación de teoría económica y de historia y pensamiento económico disertaron junto a los invitados especiales, Michael Perelman y Eduardo Sarmiento Palacio, sobre aspectos relacionados con el tema del simposio.



LA RECESIÓN MUNDIAL: CRÍTICA A LA VISIÓN ORTODOXA

Eduardo Sarmiento

Me voy a referir a la invalidez del equilibrio competitivo. Es un título bastante académico, que trata de ir al fundamento de la ciencia económica.

Primero voy a hablar de la ley de Walras. Se trata de una ecuación muy simple, en la que se dice que la suma de los excesos de demanda sobre la oferta de bienes más el exceso de demanda es igual a cero. Según esta ley, cuando se quiere ofrecer un producto, se tiene como contraparte el deseo de adquirir otro; es decir, hay una restricción de presupuesto que hace que las sumas de las demandas de la economía sean iguales a la oferta. Esa es la ley planteada por Walras a comienzos del siglo XX, que fue copiada de cierta manera de las formulaciones de la energía de la física que dicen que la energía total del universo es constante, que si se genera energía potencial existe una contraparte en la energía cinética; que, igualmente, si se ofrece un producto esto tiene una contraparte en su demanda. Lo que hace Walras es ponerlo en esta ecuación simple que dice: la suma de los excesos de demanda de bienes más el exceso de demanda de dinero es igual a cero.

¿Qué hace Say? Simplifica las cosas. Quita el dinero y deja únicamente bienes. Y dice que la suma de ofertas es igual a la suma de demandas, que estamos en un mundo donde la oferta crea la demanda; cuando se tiene exceso de oferta en un mercado, debe tenerse exceso de demanda de bienes en otro. De allí la famosa ley según la cual la oferta crea su propia demanda, que fue la brújula de David Ricardo, de Say, de Mill y desde luego de Malthus, que tuvo una posición distinta.

Cuando Say decía que la oferta crea la demanda, generaba un mundo perfecto. Si la oferta crea la demanda y se tiene exceso de oferta, hay desempleo; sin embargo, se puede generar el exceso de oferta en una parte y ese exceso de oferta ocasiona otra demanda que la contrarresta. Entonces, cuando hay exceso de oferta de trabajo, exceso de capacidad en el sector industrial,

eso genera un exceso de demanda que corrige el desequilibrio y finalmente elimina el exceso de oferta en el mercado laboral y en el mercado industrial.

Walras dice que cuando se presenta esa situación, se van a generar unas fuerzas del mercado que van a hacer que las ofertas y las demandas sean iguales en todas partes. Eso lleva a lo que denominamos equilibrio competitivo: hay exceso de oferta en unos mercados y exceso de demanda en otros. En los mercados en que hay exceso de oferta y donde hay exceso de demanda bajan los precios y ese ajuste lleva a una solución. Fue el modelo que montaron los economistas en la primera mitad del siglo XX y que significó por lo menos una docena de premios Nobel.

Sin embargo, la cosa no funciona así, pues si no hay oferta, la demanda se reduce; hay otros mercados con

exceso de oferta de trabajo, pero la gente no quiere ese producto, entonces se manifiesta. Lo que se tiene es un sistema en el que, cuando hay exceso de demanda, se llega a una solución en la que la demanda efectiva es igual a la oferta, y otros mercados en los que cuando hay exceso de oferta, las ofertas son mayores que la demanda. Aquí yo me aparto del equilibrio competitivo. ¡No, señores, el mundo no es así! Si ustedes

tuvieran un esquema ideal y alguien moviera los precios, habría equilibrio competitivo, pero ese mundo no existe.

Esto se lo enseñan a uno cuando llega al primer curso de economía: de un lado hay servicios y de otro lado, industria. Se tiene una economía que lo simplifica en dos bienes y las posibilidades de producirlos están determinadas por la llamada curva de transformación, de suerte que si se produce en el punto A y los precios están dados por la línea AB, habría un exceso de oferta de bienes industriales y exceso de demanda de bienes de servicios. Qué dicen los señores del equilibrio competitivo: cuando se tiene esa situación, los precios de los servicios suben y los de la industria bajan, y finalmente se llega a la solución de equilibrio competitivo. Eso no ocurre. Cuando hay exceso de oferta, de mano de obra,



de bienes industriales, la gente simplemente no adquiere el producto, por lo que se acumula el inventario, pero si se tiene exceso de demanda por servicios y no hay la producción de éstos, entonces esa demanda no se da porque el producto no existe.

Miren en la economía colombiana de los últimos 50 años, en la de Estados Unidos, en la del mundo, que esto es cierto. En todas partes hay exceso de capacidad de industria y los servicios no dan abasto con la demanda —caso de la salud, la educación, etc.—, de manera que éste es el ajuste: en lugar de que esa ecuación se vuelva cero, lo que hay es un exceso de oferta en unos sectores y exceso de demanda en otros. En esas condiciones, ¿qué pasa con los deseos de la gente? En la ley de Walras lo único que se tienen son deseos. Pues bien, a través del sistema esos deseos se vuelven realidades. Y ¿qué relación hay entre los deseos y las realizaciones? Pues los economistas nunca pudieron explicarlo.

Para poder pasar de los deseos a las realizaciones, se inventaron un tatonador, que es una especie de subastador, y esos fueron los grandes trabajos sobre equilibrio competitivo. Este señor, en los sectores donde hay exceso de demanda, sube los precios, y donde hay exceso de oferta, los baja. O sea que los lleva al equilibrio competitivo. Esto significa que se necesita un supermán para pasar de estas formulaciones deseadas a realizaciones. Un tatonador: eso fue lo que se inventaron y hay por lo menos cinco premios Nobel en ese tema.

Hace mucho tiempo, unos 40 años, yo dije que eso estaba mal. Usted no necesita a ese señor, el dinero le hace esa tarea. Pero como montaron una economía sin dinero, es decir, la ley de Walras sin dinero, lo requieren.

¿Cuál fue el error de Say? Pues que él no incluyó el dinero. Esa era la moda en la primera parte del siglo, suponer que el dinero era un ente perfecto en equilibrio. Entonces estaba en una economía de intercambio en la que no había dinero y la ecuación era igual a cero. Obviamente, si no hay dinero y se tiene exceso de oferta de bienes, debe haber exceso de demanda de otros y se da la ley de Say.

Usted tiene un sistema que opera con deficiencia de demanda efectiva y con desequilibrio en el mercado monetario, totalmente distinto de lo que aparece en los libros de texto y de las concepciones dominantes. El que manda un libro de texto como éste no lo publican en ninguna parte del mundo.



La crítica más fuerte a la ley de Say la hace Keynes en la primera parte de la *Teoría general*, donde dice que tenemos un error monumental, que los clásicos, con Ricardo y Mill a la cabeza, montaron un sistema basado en la ley de Say, en la que esta relación primera no tiene dinero y es una identidad que no es cierta. Con eso le han hecho un gran daño a la humanidad porque han negado las recesiones, el desempleo, y a fuerza de hacerlo han consentido su materialización, y lo más grave es que como tienen una teoría donde no hay desempleo ni recesión, carecen de las políticas adecuadas para afrontarlo.

La crítica fue aterradora para todos los clásicos. En cierta manera les dicen: “Ustedes no saben sumar, ustedes nunca entendieron qué es una igualdad o qué es una identidad” (que tampoco lo sabía muy bien Keynes), pero en todo caso afirmaron que Keynes tenía razón: la identidad de Say no es una identidad porque hay dinero.

¿Qué es una identidad? Eso lo repito en los cursos de macroeconomía. Es una expresión donde el lado izquierdo y el derecho son idénticamente iguales, siempre se cumple. ¿Qué es una igualdad? Es una relación del mismo tipo que se vale en condiciones especiales. Entonces los teóricos, matemáticos, brillantes clásicos, resolvieron el debate: definitivamente la ley de Say como identidad es una locura, eso no es cierto, tiene razón Keynes. Pero ojo: los ilustres clásicos nunca dijeron eso, ellos afirmaban que esta relación de Say es válida en condiciones de equilibrio competitivo, es decir, cuando las ofertas son iguales a la demanda. Pero sucede que



las pruebas para demostrar esa solución de equilibrio son válidas únicamente en condiciones ideales que no corresponden a la realidad. ¿Qué queda de este debate? Pues que la ley de Say es falsa en términos matemáticos, no hay tal identidad. Y si no es falsa en términos matemáticos, lo es en términos económicos, porque el equilibrio competitivo no se da a través de la fuerza del mercado. Esa es la conclusión histórica.

Los clásicos pierden el debate, arman una discusión en la que aducen que ellos no aseguraban que esto no era identidad y demuestran finalmente que la ley de Say no es una identidad sino una igualdad. Lo grave es que el debate científico se resuelve, pero en la práctica sigue siendo válida la ley de Say como identidad. Todos los



libros de texto importantes, escritos en Estados Unidos y en Europa, giran alrededor de la ley de Say. Todos consideran que el mercado monetario está en equilibrio, que la inversión es igual al ahorro, que las deficiencias de balanza de pagos se cubren con endeudamiento externo; es lo que se enseña en las facultades de economía. La teoría que fue derrotada en el debate sigue siendo válida. La macroeconomía está basada en la ley de Say, que dice que los mercados están en equilibrio y que el mercado monetario también. En todos los libros de macroeconomía se supone que el mercado monetario está en equilibrio, que el mercado de trabajo está en equilibrio, que el mercado externo está en equilibrio...

Ese es el drama. Como tenemos malas teorías desde el comienzo, no se entendió la crisis del 2008, nos mantenemos en el subdesarrollo y los salarios suben por debajo de la productividad.

Desequilibrio monetario

Ahora llegamos al segundo punto: desequilibrio monetario. Los más ilustres pensadores de la economía de los últimos 200 años terminaron diciendo que la oferta es igual a la demanda de dinero, que el mercado monetario está en equilibrio.

Cuando Keynes anunció el libro de la *Teoría general*, amenazó con que él iba a construir una teoría monetaria del desequilibrio. No salió con nada. Finalmente, en el capítulo monetario dice que la oferta es igual a la demanda. La diferencia con los clásicos es mínima, la única es que Keynes sostiene que el mercado monetario es menos flexible, es decir, que la elasticidad de la demanda de dinero a la tasa de interés es muy alta, cuando los clásicos consideraban que era muy baja. Fuera de eso no hay ninguna diferencia. De manera que Keynes nos dejó esperando la teoría monetaria del desequilibrio y ante esa falla de Keynes, que en el fondo tenía una seria crítica conceptual al dinero, se validó la teoría de equilibrio monetario, que tiene como principales gestores a Milton Friedman, Robert Lucas y todo el arsenal de la Universidad de Chicago.

El mercado monetario está en equilibrio. ¡No! Cuando hay exceso de oferta es porque se tienen problemas en el mercado monetario, en el sector externo. Hace 20 años, cuando estaba en la Universidad de los Andes elaborando estas concepciones y mis colegas escribían contra mí en los periódicos y mandaban cartas a la universidad en las que decían que era un peligro que estas ideas tuvieran receptividad pública, escribí un libro que se tituló *Fallas de mercado y crecimiento económico*, en el que me atrevía a sostener que el mercado monetario estaba en desequilibrio. Esa era una herejía. El presidente del banco central le dijo al rector de los Andes que yo cómo aseguraba que el mercado monetario estaba en desequilibrio, que eso era ir contra toda la ciencia válida del mundo. Tenía razón... pero no era válida. En el libro yo afirmo que el mercado monetario está en desequilibrio, y ese desequilibrio se genera por las fallas de la actividad real, pero más que todo por el mercado externo; entonces lo que hice fue formular la ley de Walras para una economía abierta. Estaban haciendo la apertura y quise ver si los convencía por ese lado. Les dije: "Si ustedes abren la economía, el mercado monetario deja de estar en equilibrio".

Si se tiene una economía con bienes transables y bienes no transables y se aplica la ley de Walras, la suma

de excesos de demanda de bienes y dinero sería igual a cero. Como la economía es abierta, se puede tener demanda diferente de la oferta en los bienes transables, pero no en los bienes no transables. En éstos, por obligación, la oferta es igual a la demanda efectiva. Entonces si hay igualdad en el mercado de bienes no transables, el mercado monetario está relacionado con el mercado externo; cuando hay exceso de oferta de bienes transables, es decir, se tiene un superávit en la balanza de pagos, hay un exceso de demanda de dinero, y si hay un déficit grande de la balanza de pagos, se tiene un exceso de demanda sobre oferta de bienes transables cuya contraparte es el exceso de oferta sobre la demanda de dinero.

Eso lo demostré en el libro. Lo escribía a ratos; por la mañana escribía el libro y por las tardes contestaba los ataques de mis colegas, que decían que yo estaba malinterpretando la ciencia económica, que estaba enseñando el camino equivocado y que mis ideas no eran sanas... No lo decían, pero estaba implícito en toda su crítica a mis posiciones. Nunca se atrevieron a hacerme un comentario concreto a los trabajos, eran simples conjeturas de tipo político, lideradas por el presidente Gaviria, como una contestación a mis críticas sobre lo que iba a ser la apertura comercial.

Pues bien, en el libro de marras, escrito en 1993, tanteo esta tesis y la corroboro, y ahora volví con lo mismo y se corrobora al revés. De acuerdo con ésta, no hay tal equilibrio en el mercado monetario, el impacto del dinero depende del sector externo y de toda la economía, pero en particular del sector externo. En unos momentos puede tener exceso de oferta; en otros, exceso de demanda. No hay ninguna justificación a la teoría del equilibrio monetario de la Universidad de Chicago, que llevó al profesor Friedman a asegurar que la política adecuada era aumentar los agregados monetarios el 2% por año. Pues bien, en Estados Unidos no los están aumentando el 2% por año sino 30% por año, y no tiene la inflación que decía Friedman.

Pero fíjense en que esto toma mucho tiempo. En esa época, yo tenía una evidencia empírica corta. Ahora

demuestro que antes de la apertura había exceso de demanda de dinero y ahora hay exceso de oferta, el mundo opera en forma totalmente distinta.

Ya entendimos la ley de Walras y la ley de Say, y ahora entramos en que el mercado monetario no está en equilibrio; esa organización de un banco central autónomo, que sube la tasa de interés cuando aumenta la inflación y la baja cuando se reduce, es completamente inoperante, es un avión que está a la deriva, que puede ir para un lado, que puede ir para el otro, y con un piloto automático que siempre dice: "Cojamos por el camino más fácil, el del medio".

Pues bien, aquí tenemos la primera crítica grande a toda la macroeconomía, a toda la teoría de comercio internacional; ustedes se preguntarán si nadie más dijo esto. ¡Sí! Esto lo dijeron Johnson y Dornbusch en un trabajo muy importante que tuvo la censura tremenda del profesor Friedman, que prácticamente extirpó la insinuación de estos dos importantes economistas en cuanto a que el mercado monetario no estaba en equilibrio. Pero esto controvertía todo el montaje de la Universidad de Chicago, las publicaciones de los *journals*, etc. Y qué tal yo, diciendo esto desde la Universidad de los Andes. Qué futuro podía tener si a Johnson y a Dornbusch los callaron. Imagínense: el presidente del banco emisor en la junta directiva de la Universidad de los Andes diciendo que esas ideas no tenían validez científica y que atentaban contra el pensamiento serio de la universidad. Y lo que estábamos haciendo era investigación, estábamos controvirtiendo una historia económica, teórica, que a mi juicio ha sido desafortunada. Ahora tenemos una estructura económica diferente, no hay igualdad entre la oferta y la demanda de dinero.



Estructura productiva

El tercer tema es la estructura productiva. De acuerdo con la teoría neoclásica, el mercado a través de sus fuerzas se encarga de que las productividades marginales sean iguales en todos los sectores, entonces el mercado se encarga de que no haya diferencias de productividades. Si hay un



sector con mayor productividad que otros, ¿qué ocurriría? Pues que el empleo se iría para el sector de mayor productividad y luego, en virtud de las productividades marginales decrecientes, bajaría la productividad y se igualaría en todas partes. Eso es lo que enseñan en todas partes en microeconomía, es el modelo de equilibrio general que está implícito en toda la enseñanza de la economía del mundo. ¡Es una mentira! Este ejercicio lo he hecho miles de veces. Si eso fuera cierto, entonces la productividad de los que programan los computadores sería igual a la productividad de los señores que limpian las ciudades. No es igual: el señor que está en la calle gana diez veces menos que el otro y no porque a él le diera la gana sino porque la productividad es mayor en los computadores, en los automóviles, en la industria de electrodomésticos, etc.

De modo que esa es una teoría que no tiene la más mínima verificación empírica. Que las productividades se igualan, eso es para reírse. Bien: eso es lo que enseñan, eso es lo que incluyen en los planes de desarrollo. Yo digo que no es cierto.

Me preguntaron en una entrevista qué tenía que hacer el país. Dije que debía hacer tres cosas: industrialización, intervención del tipo de cambio y orientación del crédito. Si se realizaba eso, podíamos ser como Japón o Corea. Nada de eso se hizo. Bueno, aquí lo que hay son unos sectores, los de mayor potencial, los más dinámicos, limitados por la demanda, y los menos dinámicos, como los servicios, como la infraestructura de carretera, limitados por la oferta. Hay una deficiencia de demanda efectiva, pero no la global, no la de Keynes. Existe una demanda efectiva ocasionada por fallas estructurales en la coordinación de los sectores, hay una fuerte complementariedad entre los servicios y el comercio, hay rigideces de precios, etc. Es la realidad.

Cuando se habla de investigación, la gente piensa que eso se hace en las universidades. Pero no: la investigación del conocimiento más importante se hace en las empresas, la hacen los mismos trabajadores, aprendiendo en el oficio. Yo no aprendí economía en la Universidad de Minnesota, ni en la Universidad de los Andes, ni en la Escuela Colombiana de Ingeniería. La aprendí gracias a la experiencia, mirando el mundo y viendo cómo eso coincidía con las atracciones, de modo que la gran virtud de la industria está ahí, en el aprendizaje del oficio.

Empleo

Entramos al cuarto tema: empleo. El país montó la apertura económica en 1990. En ese momento la tasa de desempleo era del 8%, luego subió al 20% y se quedó en el 13%. La más alta de América Latina y una de las más altas del mundo, únicamente nos supera España. Eso no es lo grave: el desempleo es del 13% pero la informalidad es del 60%. Esta fuerza de trabajo carece de seguridad social y en general devenga salarios inferiores al mínimo. ¿Saben a qué se debe eso? A que las empresas tienen acceso a bienes de capital y materias primas importadas, regaladas. Con esas máquinas y con esas materias primas regaladas elevan la productividad de sus empresas y desplazan la mano de obra. Ahí está la crisis del desempleo y de la informalidad, originada por la apertura de 1990. Como resultado tenemos niveles de pobreza del 50%, coeficiente Gini de 0,59 y la peor distribución del ingreso del mundo. Y todo eso se debe a la apertura.

Dentro de la mayor hipocresía, el señor Obama y el señor Santos dicen que nos van a resolver el problema laboral bajando los aranceles de Colombia de 14 a 0 mientras que los de Estados Unidos los dejan igual, porque con el Atpdea no se afectan con eso. De manera que ahora vamos a tener importaciones más baratas, carros más baratos, pero subirá el desempleo, habrá más informalidad y más marginamiento de la



población. Y miren lo que dicen los colegas neoliberales: hacen la apertura, se tiran el país de arriba abajo y sostienen que el problema del desempleo en Colombia se debe a los salarios, cuando el aumento del salario ha sido sistemáticamente inferior al incremento de la productividad; entonces cómo se explica que sea el causante del desempleo si el salario quedó por debajo de la productividad y el desempleo aumentó.

Cuando hay exceso de oferta de trabajo es porque existe un desajuste en alguna otra parte, es un problema macroeconómico, estructural. Eso de las rigideces de salarios es un invento totalmente maquiavélico para satanizar a la gente que está del lado de los grupos menos favorecidos de la población. Si usted dice que hay que subir los salarios es un populista, es antitécnico, pero si dice: "Pongan la tasa de interés al 20%, por encima de la productividad del capital", les parece lindo; eso es desarrollo, eso es ahorro, eso es progreso.

La apertura, por su propia naturaleza, baja el salario. Es una de las preguntas obligadas en mis exámenes: "Explíqueme por qué la apertura en lugar de subir el salario en Colombia —como decían mis colegas neoliberales— lo deprimió y disparó el desempleo". Vieran cómo me contestan de bien. Cada vez que leo, digo: "¿Y esto? Por qué entienden tan bien...". Pero bueno, por lo menos yo me contento con eso.

Entonces, ¿qué es el desempleo? Es un problema de demanda efectiva porque la gente está en la informalidad y el desempleo. Esta gente, por razones de demanda, carece de los ingresos para comprar los bienes que podrían producir en el sector formal. Y carecen de ellos por la apertura, por los errores de la política monetaria, por la orientación equivocada de los sectores; es un problema macroeconómico, de desequilibrio, que no lo van a entender mientras usen esos libros de texto que dicen que el mercado monetario está en equilibrio y que hay desempleo, lo cual es totalmente contradictorio.

Crecimiento económico

El quinto tema es el crecimiento económico. Tenemos una macroeconomía y una concepción sectorial montadas en la ley de Say, según la cual todos los sectores tienen igual productividad, que es lo mismo que decir que da igual que los trabajadores estén en la General Motors o vendiendo cigarrillos en las esquinas porque la productividad es igual. ¡Es que el tipo de tonterías que han alcanzado a decir...!

Sigamos con otra de las gracias de la ley de Say. Dice que la oferta crea la demanda, entonces se montaron una teoría del desarrollo y del crecimiento sin demanda. El modelo que está en todos los libros importantes de macroeconomía supone que el ahorro es igual a la inversión. Ese es el único elemento de demanda, o sea, que la oferta es igual a la demanda y luego se monta una economía de oferta sin la demanda. Entonces qué nos dice el modelo de Soros, qué nos dice el modelo de Kulman, qué nos dice el modelo de Lucas, qué nos dice el modelo de Romer, qué nos dice la nueva macroeconomía, la nueva teoría del crecimiento: que cuando se eleva la capitalización de la economía, se incrementa la oferta, esa oferta amplía el empleo y después todo el mundo feliz. Pero los coreanos y los asiáticos ya se lo inventaron: si se aumenta el ahorro en la economía, se tiene más capitalización y más capacidad instalada; sin embargo, Keynes dice que si se aumenta el ahorro, baja el ingreso corriente, y si de golpe se compensa con la inversión, apenas llega hasta ahí. Entonces se tiene un sistema en el que la oferta crece más que la demanda. Por eso los coreanos y los chinos encontraron que la forma de crecer es con elevados ahorros que les dan alto crecimiento, pero generando la demanda afuera, en la sociedad de sobreconsumo de Estados Unidos. Así, el crecimiento asiático se debe en cierta forma a que encontraron a unos tontos que se encargaron de meter en la especulación el exceso de ahorros.

Esa teoría está estructuralmente mal. El problema del modelo de equilibrio general es que todos los supuestos para llegar a una solución y las ofertas y las demandas son iguales, lo que implica que no hay rigideces de precios, que no hay problemas de información, que no hay complementariedades en la economía, que no hay elasticidad de precios como existe en la agricultura; por eso el sistema





tiende a una oferta igual a la demanda. Díganme en dónde se da eso. ¿Industria? Toda la vida ha habido exceso de capacidad. ¿Agricultura? El área agrícola del país son 100.000 hectáreas, y usted utiliza sólo el 8%. ¿Empleo? Usted tiene el 70% de la fuerza de trabajo excluida del sistema. Entonces lo que hay es oferta, y qué es lo que nos falta, lo que no está en los libros de texto: la bobadita de la demanda.

Con todo, no es una demanda que se resuelva aumentando el dinero con políticas generales, sino con una nueva estructura productiva. Pues bien, en esta discusión de la ley de Say, los grandes tratadistas de desarrollo económico, entre los que hay 20 premios Nobel, o sea que estoy en una desventaja grande, dicen que la oferta mueve la economía y que uno puede excluir en el análisis la demanda, sin que pase absolutamente nada. Lo que dicen los tratadistas de desarrollo económico es que la demanda no cuenta, que a corto plazo puede haber problemas y que puede cumplirse la ley de Say, pero que a la larga el mercado predomina, de modo que cuando estamos hablando de cinco o diez años, la oferta domina la demanda, y quíerese o no las ofertas y las demandas de los diferentes mercados se igualan. Eso lo incorporaron en la teoría del desarrollo, en particular en el modelo de Kulman, y lo que yo he demostrado es que ese modelo no lleva a la mejor eficiencia.

El modelo de Kulman, que supone que elevados niveles de ahorro significan altos niveles de capitalización, expansión de la capacidad instalada, de la producción y el empleo, está basado en condiciones ideales, en el supuesto de que hay una gran respuesta del ahorro a los estímulos de tasa de interés y del capital. Ese modelo funciona cuando se reconoce que los estímulos al capital, el alza de la tasa de interés, llevan a los inversionistas a aumentar el ahorro, a ampliar la capacidad instalada y, por ese lado, a impulsar la economía. ¡Ojo! Aquí hay elementos de verdad, pero también de engaño. De verdad, que el ahorro es el mecanismo más efectivo de crecimiento. En virtud del ahorro es posible lograr que el consumo actual se incremente en 6 o 7% en un año, incluso más. Se puede conseguir que el consumo de la

población se eleve un 10% anual, que se duplique cada siete años. El ahorro es un instrumento poderosísimo y eso lo entendieron los marxistas, lo han aplicado los rusos, los estadounidenses, los asiáticos. Nosotros nos hemos quedado un poco atrás. Pero sobre eso hay claridad, ahí están bien los modelos. Los Tigres Asiáticos tienen una tasa de ahorro del 30%, por eso crecieron al 10%; nosotros tenemos una tasa del 20%, por eso crecimos a menos del 5%; Estados Unidos tiene una tasa de ahorro del 8%, por eso crece al 3%, y lo mismo sucede con Europa.

Se preguntarán: “Si eso es tan bueno, ¿por qué no se hace?”. Se ha tratado de hacer. Aquí intentaron aumentar el ahorro en los últimos 30 años y fracasaron. El ahorro es una cosa buena pero no se sabe cómo estimularlo. En la década de los setenta se propuso

subir las tasas de interés en un 80%, enriquecieron a la gente y no hubo más ahorro ni más inversión. Los que hicieron eso están arrumados en el Banco de la República, o devengan grandes pensiones de allí. Es a los que mejor les va, y nosotros, en cambio, en el infierno.

Ese no es el camino. Sucede que los que hacen el ahorro no son los que perciben los beneficios del desarrollo. El ahorro está concentrado en la clase media y en la clase alta, que no son sensibles a los estímulos. Cuando usted les da más estímulos a través de la tasa de interés de bajos salarios de rendimientos financieros, ellos reciben esos beneficios pero no responden, por lo que dichos beneficios no afectan la tasa de ahorro; entonces lo que se tiene son economías que podrían avanzar más con más ahorro, pero no lo hacen porque los capitalistas no responden a la tasa de ahorro. Si se sube la ganancia del capital, ésta no es más ahorro, que significaría más crecimiento, más salario, más empleo, sino más consumo de los ricos.

Todos esos modelos que suponen que el mercado funciona mediante los estímulos están equivocados. Si se elevara el ahorro, habría crecimiento, más productividad de la mano de obra y más salarios. Pero eso no ocurre porque cuando se les da ganancias a los empresarios, ellos no responden con más ahorro sino que simplemente se toman esa ganancia y se la gastan.



La ley de Say tampoco se cumple a largo plazo, los modelos de crecimiento están equivocados, y eso lo mostraron los asiáticos, Estados Unidos y Europa. Durante 200 años tuvieron un crecimiento basado en el mercado, en la respuesta del ahorro a los estímulos. Pues bien, eso lo modificaron por completo los Tigres Asiáticos, que establecieron el ahorro no a través de sistemas de mercados, sino de intervención del Estado, en la construcción de empresas de ahorros forzosos, fondo de empleados y empresarios, orientación del crédito, buena utilización de la emisión monetaria, etc., pusieron la tasa de ahorro en 30% y China la tiene en 50%. Entonces crecen al 10% y nosotros nos quedamos en 4%, con la misma tasa de ahorros de hace 25 años.

Crecimiento y distribución del ingreso

Este es el tema de mi último libro, *Transformación productiva y equidad. Después de la crisis*. La tesis es que tenemos unas sociedades tremendamente desiguales; las cifras de los últimos años muestran que la rentabilidad del capital se ha disparado en Europa y en Estados Unidos; los ingresos producto del trabajo disminuyen y las diferencias entre trabajadores aumentan; en todas partes del mundo empeora la distribución del ingreso. Pues bien, esto me lleva a revisar al primer Premio Nobel de Economía, el brillantísimo economista Simon Kuznets. Es el autor de la relación entre el consumo y el crecimiento, tuvo una enorme influencia en las metodologías para la construcción de premios Nobel e hizo una gran contribución a las metodologías para la construcción de las cuentas nacionales; sin lugar a dudas, su obra fue excepcional.

Infortunadamente, en el trabajo que elabora para recibir el Premio Nobel defiende la tesis de que hay una relación directa entre el crecimiento económico y la equidad, en la medida en que si se crece más después de cierto punto ese crecimiento mejora la equidad. Más aún, señala que los países que han logrado superar el ingreso per cápita de US\$1000 (de esa época, que serían como US\$4000 ahora), entran en una senda en que el crecimiento, por pequeño que sea, significa una mejoría en la distribución del ingreso. De manera que ese trabajo aplaudido fue su aporte al recibimiento del Premio Nobel y esa concepción se volvió la verdad de los organismos internacionales, de los bancos internacionales y de los planes de desarrollo. El crecimiento reduce las diferencias.

Por desgracia, le sentó mal el galardón. Con unas cifras que no tenían ninguna coherencia ni ningún significado estadístico, montó la tesis. Obviamente era muy buen economista, pero su intuición le falló, de modo que en los últimos 20 años está la demostración de que Kuznets se equivocó. En mi último libro hago un cálculo aritmético, demuestro que el crecimiento económico del mundo ha venido decreciendo pero sigue siendo positivo. No uso cifras mías porque quién sabe qué me dicen. Utilizo cifras del Banco Mundial, una muestra de un funcionario muy importante del Banco Mundial según la cual de 70 países, 55 experimentan un deterioro de la distribución del ingreso.

¿Qué le pasó a Kuznets? Pues que cuando hizo su predicción estaba montado en el modelo de la ley de Say, en la concepción de equilibrio competitivo. Tenía a su lado el modelo de Kulman que dice que, en virtud del impacto del ahorro, las economías están en capacidad de alcanzar elevadas tasas de expansión, y que esas tasas se manifiestan en mayor productividad del trabajo y mayores salarios. Él tomó los modelos de crecimiento que dicen que si se tiene un sistema económico y se lleva a incentivos al capital, esos incentivos se manifiestan en mayor ahorro, y luego ese ahorro se traduce en mayor capitalización, mayor crecimiento, mayor productividad del trabajo y mayores salarios. Entonces los estímulos al capital, a través del proceso de desarrollo, dan lugar a más productividad del trabajo, más salarios, y luego, mediante la educación y otros procedimientos de transferencias, se reducen las situaciones de marginamiento, ese era el modelo. Qué pasa: la *American Economic Review*, el *journal* más importante en economía, cumple 100 años y los va a conmemorar publicando los 20 estudios más importantes, a su juicio. Entre esos trabajos figura el de Kuznets. ¡Es el colmo! Se equivocó históricamente, y no sólo le dieron el Premio Nobel sino que ahora se lo quieren engrandecer, cuando con ese trabajo de muy mala calidad le hizo un gran daño a la humanidad, le hizo creer a la gente que con estímulos de capital, con elevado crecimiento, se iban a reducir las desigualdades y a incluir a toda la población en el desarrollo.

Esto demuestra un poco el atraso de la economía en relación con otras ciencias. A Einstein no le dieron el Premio Nobel en Física por la teoría de la relatividad, en el entendido de que no tenía suficiente trabajo empírico; se lo otorgaron por el fenómeno fotoeléctrico.



Entonces qué es lo que se tiene: no se da la ley de Say, no es cierto que cuando se brindan estímulos se generan capitalización, crecimiento, productividad y salarios. El crecimiento económico no marcha porque los señores que hacen el ahorro no tienen estímulo para capitalizar y empujar ese crecimiento. Lo que hay es una gran concentración del capital, sin los beneficios de esa productividad del capital, lo que ha dado lugar a que el ahorro se busque en los salarios; de allí la teoría de la represión. Como les dieron todas las ventajas a los capitalistas y eso no funcionó, lo que tratan de hacer para medio levantar ese ahorro es bajar los salarios.

La conclusión es que en los últimos 25 años el mundo ha crecido menos que antes, con una desigualdad creciente y un estado de exclusión que no es soportable ni en los países desarrollados. Qué hay que hacer: cambiar la teoría, cambiar los libros de economía, pedirles a los profesores que por favor no reciten de memoria los libros de texto. Necesitamos una nueva teoría, y esto sí que es complicado porque la gente no cree en las teorías. Les voy a decir qué es lo que hay que hacer:

1. Mercado monetario en desequilibrio y en particular muy relacionado con el sector externo, de manera que en los exámenes de macroeconomía, si contestan que hay igualdad entre la demanda y la oferta de dinero, pónganme un asterisco ahí en el que digan que eso puede no ser igual.



2. El ahorro no es igual a la inversión y eso se refleja en un desequilibrio monetario. Las ofertas y las demandas no son iguales, Colombia demanda mucho más bienes de los que produce a través de un déficit en la balanza de pagos, de modo que esa igualdad no se cumple. Eso hay que reconocerlo, pues el mercado monetario es muy complicado, depende del conjunto de la economía, y no se les puede entregar su manejo a cinco burócratas que lo único que hacen es mover la tasa de interés siguiendo el índice de inflación.
3. Las prioridades sectoriales no pueden ser cosa de gustos. Si el sistema económico no funciona y no tiende al equilibrio, vamos a tener unos sectores con mayor potencial que otros. Esos deben ser los líderes: industria, agricultura y construcción de vivienda, no de infraestructura de grandes proyectos, que es la actividad más ineficiente del mundo.
4. Empleo. No podemos seguir subiendo el salario mínimo por debajo de la inflación, hay que crear las condiciones para que los trabajadores que están excluidos tengan el ingreso que les permita adquirir los productos que pueden producir y consumir, así de simple. Pero si les bajan los salarios, menos van a poder comprar. Necesitamos una política que eleve los salarios de los trabajadores informales, que incorpore a los desempleados en la economía, y para eso hay que hacer cambios en el Banco de la República, hay que parar esta política loca de revaluación, hay que suspender la inversión extranjera. Ahora, si no se puede hacer todo eso que digo, montemos un gran subsidio sobre el empleo (idea que me costó un regaño hace cinco años). Por ahí lo vienen haciendo de a poquitos. Sería una solución, pero no esos subsidios que montó el gobierno con ayuda del Congreso, que no llegan a 0,5% del PIB. Cuando hablo de subsidios al empleo, me refiero al 5% del PIB.
5. Crecimiento económico. Tiene que liderarlo el Estado. El ahorro no se puede dejar en el sector privado ni en los concesionarios de carreteras, es un asunto tan importante que lo debe manejar el Estado. Se requiere una gran regulación del sector financiero, una presencia del Estado para elevar el ahorro y conducirlo cuando sea necesario. De esa manera podemos tener tasas de ahorro del 50% y de crecimiento del 10%. Hay que hacer todo esto, hay que proteger el sector laboral, conducir los subsidios ha-

cia los sectores que más los necesitan, faltan políticas industriales y agrícolas. Con eso habría crecimiento y equidad. Se debe cambiar todo, comenzando por la teoría; si se cambia la estructura productiva en la forma que digo, mercado monetario, sector externo, tipo de cambio, orientaciones, sectorial, hay que ir más lejos; se requiere una política social de derechos que mejore las condiciones de los más perjudicados, de los más excluidos, y eso sólo se puede hacer con servicios sociales de calidad porque aquí lo que hemos tenido es asistencialismo, educación de tercera para las grandes mayorías, salud de mejorales y aspirinas y pensiones inexistentes para las grandes mayorías; necesitamos un gasto social de calidad, con impuestos progresivos a los sectores altos, para que el Estado se encargue de educar y de darles salud a todos los colombianos, de garantizarles la pensión mínima a los trabajadores de menor nivel de las empresas. Eso cambiaría las condiciones relativas de los trabajadores. Si ellos consiguen el empleo formal a

través de la reforma económica y adicionalmente el Estado se pone adelante con los recursos que tiene y con los que puede conseguir adicionalmente, no hay razón para que los colombianos no tengan educación de calidad. Eso no lo va a hacer el sector privado...

Ya lo vimos con la seguridad social. Se privatizó y hoy los fondos privados de pensiones no pueden ofrecer ni la quinta parte de los beneficios de la seguridad pública, están prácticamente quebrados, y la solución es quitarles beneficios a los colombianos que lograron incorporarse en la seguridad social, que son la minoría. Y en cuanto a la salud, pasa exactamente igual.

Si me preguntan qué debe hacer Colombia, si queremos colaborar para que les vaya bien a los europeos, a los norteamericanos y a los asiáticos, dediquémonos a producir servicios, eso ayuda a la crisis mundial, pero ojo: eso nos va a significar informalidad y bajísimo crecimiento.





THE SOCIAL ENVIRONMENTAL CONSEQUENCE OF NEOLIBERALISM

“La economía medioambiental solvente es una tergiversación de la realidad”

Michael Perelman

Cuando yo estaba empezando mi carrera, la clase más fácil era la de economía. Escuchaba decir que los mercados funcionan, y lo único que tenía que hacer era decir eso, que “los mercados funcionan”. Más adelante me di cuenta de que había un problema con este concepto. Aprendí cómo la economía se ha facilitado a expensas de una verdad más costosa. Un ejemplo muy sencillo: todo el mundo aquí ha oído hablar de Adam Smith y su fábrica de alfileres. El único problema es que no tenía sentido: Adam Smith vivía en una aldea donde estaba la planta más industrial del mundo, y él estaba hablando de una fábrica de alfileres que describía como algo trivial, no de la gran fábrica que tenía en el pueblo. Ésta se encontraba al lado de su casa. Quienes vivían cerca le preguntaban por qué hablaba de la fábrica de alfileres. Pues resulta que Adam Smith afirmó en una de sus clases que el trabajador más pobre de Inglaterra era más rico que un príncipe de la India porque tenía más gente bajo su control. Fue una idea que tomó de otra persona y consistía en que si se tiene un abrigo de diferentes partes y uno piensa en cuántos están involucrados en producirlo, son más personas de las que tendría un nativo norteamericano en su tribu.

El trabajador o la fábrica de alfileres puede hacer miles de alfileres por día, por división del trabajo. Una persona que está haciendo uno o dos alfileres diarios realiza una cantidad de trabajo preliminar. En el caso de la fábrica, el alambre ya está hecho y uno simplemente tiene que darle forma y prensarlo. Luego, para dejarnos la idea de que los trabajadores son los responsables de la presión de los alfileres, él dice que le debemos esa gran productividad a la división del trabajo. Y ésta depende de la extensión del mercado. Entonces Smith alejó inmediatamente nuestra atención de la producción y la llevó al mercado. Incluso si hablamos acerca de la división del trabajo, es aquella creada por el gerente de la fábrica de alfileres.

Lo realmente interesante aquí es que las dos cifras no son com-

parables. Por ejemplo, si yo les dijera que el trabajador de la caja de un supermercado es más eficiente que un granjero porque puede alimentar a más personas que éste, ¿eso tendría sentido para ustedes? Espero que no.

Economía transaccional

Smith hizo que la economía fuera transaccional. Esto significa que tomamos nuestra atención, la alejamos del productor y la pasamos a una relación voluntaria entre el comprador y el vendedor. Esto le dio a la economía una base muy mala, con apoyo muy fuerte, e incluso antes de la ley de Say, que el profesor Sarmiento estaba destrozando, tenemos este problema de no prestarle atención a nada, excepto a las transacciones. Ahora, la economía transaccional tiene otro problema: el tiempo. El tiempo no existe en la economía convencional. Podemos tener tasas de crecimiento con una variable, un denominador, el PIB anual, salarios hora, pero realmente no vemos el tiempo como tal, no hay concepción del tiempo e incluso cuando miramos la inversión, que es algo que va hacia el futuro, la colapsamos en las expectativas; entonces el problema con el tiempo desaparece. Ahora, si uno quiere hablar de la economía ambiental, el tiempo se vuelve muy importante si se piensa en cómo tratamos a la gente, porque en estos términos, muchos están perdiendo su tiempo; ustedes ahora podrían estar ganando dinero, ignorando el hecho de que al gastar tiempo en aprender y desarrollar habilidades van a ser más productivos en el futuro.

Lo que hizo la fábrica de alfileres fue lograr que todo fuera transaccional. Después de eso creamos problemas terribles. Primero que todo, piensen en las cosas que medimos: el capital, que no tiene sentido en sí. Es decir, ustedes pueden ver que una máquina existe, funciona; pero en términos económicos, el capital es el potencial de producir valores en el futuro y no tenemos idea de cuáles pueden ser esos valores. Puedo tener una máquina que haga un ábaco o una calculadora de mano, pero después de que un computador moderno cae en nuestras manos, esa máquina se vuelve obsoleta.

Entonces, este tema no da concepción a la tecnología en sí, es transaccional: yo vendo, usted



compra y eso es todo. Esto también se relaciona con la crisis, porque una de las cosas que vemos en las transacciones son los flujos, es decir, qué está sucediendo en este instante, y también hemos perdido de vista los inventarios cuando le damos una mirada a la economía convencional. Por eso cuando la Reserva Federal dice que no puede contabilizar la inflación de activos, lo que significa en realidad es que le gusta la inflación de activos y que no quiere el otro tipo de inflación. No contabiliza la inflación de activos porque es mucho más difícil, ya los valores de los activos exigen ser consciente de lo que está sucediendo en el tiempo. Por tal razón, en la medida en que avanza, se genera una crisis. No existiría razón para cuestionar los precios de la finca raíz o de las acciones, porque habría compradores y vendedores dispuestos, que eran los que determinaban el valor. Estas preguntas son fundamentales para entender la economía. Algo diferente sucede cuando miramos la economía de una manera transaccional.

Neoliberalismo y medio ambiente

En inglés, el nombre Adam Smith tiene un juego de palabras aplicable. Adam suena casi como átomo en inglés, mientras que Smith es una persona, como un herrero; Adam es también un nombre de la Biblia, Adán; entonces él está creando esta nueva economía, y la unidad con la que está trabajando es el *commodity*, el producto particular del que habla Marx, y la gente solamente correspondía a compradores individuales que actúan por su cuenta. Lo que esto hace es crear una sociedad de individuos marginados, aislados, separados de la sociedad. Es un punto clave porque el neoliberalismo es una de las cosas de las que debemos hablar, y éste es un concepto del ser humano, que es responsable de su propia circunstancia, como individuo aislado, independiente de la sociedad. Es devastador para la forma como miramos el mundo. Necesitamos las relaciones sociales con otras personas y la economía, de la manera en que está construida, como un análisis transaccional, niega eso. Cuando habilitamos el factor y la dimensión del tiempo y pensamos en la pregunta del valor del inventario de las acciones y cómo se disparan, esto nos lleva a preguntarnos cómo funciona el ambiente, cómo tratamos el ambiente. No tenemos manera de hacer esto en economía.

Si una compañía petrolera norteamericana viene a comprar un mineral, rompe el piso y contamina sus fuentes de agua, no podemos valorar ese daño; el valor del recurso sólo puede entenderse en el contexto de todo un sistema de relaciones naturales y cómo éste opera a lo largo del tiempo. Eso lo excluimos, razón por la cual la economía medioambiental solvente es una tergiversación de la realidad, por cuanto se tratan los temas como si todo fuera cuestión de precios del mercado; lo mejor que se puede hacer es aplicar una tasa de descuento y ver si eso tiene sentido o no. Así que quedamos con un sistema que nos da una manera de analizar nuestro propio mundo y nuestros propios



pensamientos, y excluimos lo que es realmente importante para las demás personas y la naturaleza; podemos hacer un buen trabajo en cuanto a explicar por qué tal o cual precio, pero aun así esto se dificulta porque una vez que involucramos finanzas en esta situación, tenemos mercados de futuros que operan a lo largo del tiempo. Esos mercados de futuro tienen una función temporal incorporada que no podemos manejar en nuestra economía, razón por la cual muchos economistas prestigiosos aseguran que es imposible que el mercado de futuros afecte el precio de las materias primas. Después de todo, hay un comprador y un vendedor de los contratos de futuros, por lo cual esos son precios apropiados; por consiguiente, la especulación no puede afectar los precios de las mercancías en el futuro, y esto va en contra del sentido común. Vemos cómo el precio del barril de petróleo supera los US\$100, en un momento en que la demanda está baja y la oferta



muy estable, salvo por la localidad de Cushing, en el estado de Oklahoma (Estados Unidos). Mucha gente no conoce esta pequeña población, que tiene quizás más tanques de petróleo gigantes que gente. Entonces lo que hacen los especuladores es poner su petróleo en Cushing. Ellos entienden el tiempo y saben cómo utilizarlo, pero nosotros los economistas, no. Así que no es sorprendente que no haya una manera de manejar lo medioambiental ni las relaciones humanas.

Por ejemplo, cada vez más se considera a los trabajadores como obreros o mano de obra contingente, y cada vez es menos probable que un obrero y otro se hablen. Sobre la idea de fundar un sindicato, somos contingentes usted y yo y ni nos hablamos. Cómo se cría una familia si ahora puedo trabajar aquí y mañana más allá. Qué clase de sociedad nos crea esto. Entonces cómo se supone que vamos a abordar la economía. Estoy escribiendo un libro sobre los economistas de finales del siglo XVII y principios del XVIII. La mayoría de los economistas de esa época eran médicos. ¿Por qué médicos? Porque en esa época se descubrió algo que nunca se había comprendido y quien lo descubrió pensaba que el mundo lo consideraba una bobería. Se llamaba William Harvey y descubrió la circulación de la sangre en el cuerpo humano. Entonces los economistas comenzaron a ver la economía como un organismo, como una red.

Para el momento en que ya estaba escribiendo, en 1776, Adam Smith había publicado varios artículos, y en el primero se refería a Isaac Newton. ¿Por qué es importante Newton? Porque él decía que hay que entender el mundo en lo referente a la mecánica y la economía llegó a verse no tanto como un organismo o un cuerpo sino como un reloj. El reloj tiene partes intercambiables, es un aparato mecánico y sus componentes se pueden ver con independencia de los demás. Entonces los médicos ya no fueron tan importantes. Se desarrolló esta idea de lo mecánico. Smith impulsó el pensamiento de que dos economías deben aspirar a ser como los físicos. Así se desarrolló la palabra economía, que se inventó para que sonara como la física en inglés: *economy physical*. Podría haber sido cualquier palabra,

pero querían que se pareciera a la física. Entonces, después que se convierte en física, puede ser ciencia, y al ser así, la gente del común no entiende por qué hay unas ecuaciones muy complejas. Esto eliminó el diálogo entre la gente del común y los economistas y nos permitió vivir en una especie de aislamiento con respecto al resto del mundo real, salvo cuando alguien sí le quería pagar a uno por sus servicios de asesoría o de consulta. Una vez que nos embarcamos en ese desarrollo, quisimos llegar a ser supremamente buenos científicos y pasamos a utilizar las matemáticas. Y las matemáticas que usamos no fueron muy buenas ni muy profundas, pero éstas requirieron otra cosa, exigieron que pudiéramos crear medidas de lo inmedible.

Quiero darles un ejemplo: el profesor Sarmiento nos dio una charla sumamente interesante sobre la ley de Say y la de Walras, y habló sobre la oferta y la demanda en cuanto a dinero. Para 1700, William Davenant, quien era el nieto ilegítimo de William Shakespeare, decía: “Esto es una tontería. ¡Pamplinas! Estas transacciones no las lleva a cabo el dinero, las lleva a cabo el crédito”.

Hoy en día, cuando utilizamos nuestra chequera, sabemos que las tarjetas

de crédito no son dinero, son sólo un préstamo, y sin embargo cualquiera que vea el mundo podrá saber que si se eliminan las transacciones de tarjetas de crédito, dichas transacciones se contraerán tremendamente.

En un momento dado, el presidente Jimmy Carter se vio preocupado por la inflación, y Paul Volcker, quien era el presidente de la Reserva Federal de Estados Unidos, dijo: “¡Caramba! La gente se preocupa y piensa que vamos a eliminar las tarjetas de crédito”. Apenas se tuvo ese temor en el público, bajó el consumo; yo no sé lo que es el dinero, no les puedo decir, pero lo que sí se es que es algo complejo y difícil de entender. Una de mis mediciones favoritas es la del capital. ¿Saben ustedes cómo medimos el capital, las acciones? Vemos cuánto cuesta algo, a qué precio se compró y suponemos que se ha depreciado, según una misma tasa. En mi oficina tengo un computador y una grapadora. Los dos se consideran, según nuestras mediciones económicas, como equipo de oficina y los dos tienen la misma tasa



de depreciación, a pesar de que mi computador tiene 3 años y la grapadora 40.

Cómo medimos el capital es una abstracción, y luego de que nos damos cuenta de ello, todos estos modelos econométricos que hacemos llegan a ser un poco más cuestionables. Y qué estamos haciendo, por qué no podemos pensar, con respecto a la economía, como si se tratara de un sistema, de gente viva, que piensa y es inteligente.

Mercados laborales

Según el mercado laboral somos como trozos de carbón, mercancías o cosas que se compran y se venden. Ciertamente podemos ver la economía de una mejor forma, más realista, para poder acercarnos, de una manera más coherente, al mundo real. ¿Me estoy tornando demasiado abstracto para ustedes? Quizás sí. Trato de entender la economía de la mejor manera posible, pero no recibo mucha ayuda de parte de mis colegas economistas. Me parece que aprendo más leyendo historia, escuchando lo que dice la gente de los economistas y examinando los resultados de la vida real. Trato de entender cómo es que hemos desarrollado la manera de pensar, una forma de organizar nuestras ideas y nuestros pensamientos para que podamos tomar decisiones significativas, que puedan serle útiles al mundo. Estoy escribiendo un libro, que llamaré *Economía. Manual de autodefensa*. La idea detrás de este libro es comenzar a partir de Molière, el dramaturgo francés de 1600, quien escribió una obra llamada *El burgués gentilhomme*, en la que se burla de un burgués que toma clases de todo para mejorar, y posiblemente para llegar a ser un aristócrata, y está muy orgulloso cuando se entera de que ha estado hablando toda su vida en prosa.

Bueno, nosotros hemos venido hablando de economía, no aquí en las universidades, sino en televisión, en la prensa, en las revistas y en la vida diaria. ¿No debemos, acaso, saber qué quiere decir economía? Hablábamos recientemente sobre otro libro mío, *Las esposas invisibles*, esposas como las de la policía. Y me dijeron que la misma palabra se utiliza en español en el sentido de cónyuge. Ciertamente en economía puede prestarse para un chiste: podemos hablar de una esposa, alguien que nos importa, que amamos, o si estamos hablando de las esposas que utilizan los policías, podemos referir a la necesidad de hacer esto o aquello. En mi país, lo único

que se dice es sacrificio compartido. Todo el mundo tiene que apretarse el cinturón, a menos que uno sea un banquero que gane millones a la semana.

Hay algo que está mal cuando se puede utilizar la palabra economía para hablar de este modo. Así que lo que quisiera preguntarles es cómo vamos a crear un lenguaje que haga funcionar una economía. Japón fue bombardeado, lo mismo que Alemania, durante la segunda guerra mundial, pero ambas economías resurgieron, al igual que la economía norteamericana. A esta última no le ha debido ir tan bien durante la segunda guerra mundial, o después, cuando había personas de raza negra o de color que ingresaron a los trabajos en las fábricas que los requerían y los echaron cuando terminó la guerra para que los blancos recuperaran sus empleos. Algo que está pasando en Japón es que las cosas no están tan mal porque tienen sentido de solidaridad social.

El profesor Sarmiento hablaba sobre Asia. No es una casualidad que en América escuchemos a los economistas y en la China los líderes son ingenieros, no economistas. En Corea del Sur, cuando hubo la revolución fascista, llevaron ingenieros, ni un solo economista. A esas economías les fue muy bien porque no se dejaron seducir por el lenguaje de los economistas. En palabras de sus líderes, "Hicimos todo lo que los economistas nos dijeron que no debíamos hacer".

Cómo podemos llegar a un punto en el que podamos hablar entre nosotros mismos para lograr crear algo. Una de las preguntas que les formulo a mis estudiantes es ésta: "¿Qué vamos a hacer?". Creo que una de las respuestas es que debemos aprender a trabajar de manera conjunta para poder desarrollar un lenguaje que nos permita comunicarnos, crear un sentido de solidaridad. Lo que hace la economía es que va totalmente en contra de esto y erradica la solidaridad.





En cuanto a los sindicatos, ¿qué hacen y qué nos dice la economía sobre éstos? Todo trabajador debe tener la libertad de negociar los términos de su empleo, por lo que los sindicatos interfieren en las transacciones, lo cual implica una reducción de la libertad del trabajador. Se dice, entonces, para beneficiar a los trabajadores, que tenemos que limitar o erradicar los sindicatos. Olvídense del hecho de que los obreros pueden escoger la opción de tener un sindicato y preferan utilizarlo. Hay que tratar a cada uno como si fuera un átomo. ¿Qué clase de economía queremos? En este punto me sorprende que ustedes hayan conseguido hacer lo que han podido, sin hablar de la economía convencional, tradicional, que es tan común, que prevalece en Estados Unidos, donde todo el mundo dice lo mismo. La forma de lograr una disertación doctoral aprobada en Estados Unidos es no ser creativo. Se la aprueban si toma algo que un profesor anterior ha dicho y lo modifica un poquito... pero no mucho. La creatividad es mal vista, especialmente la que reta el *statu quo*. Pensando en lo que dijo el profesor Sarmiento, sobre las presiones a las que él ha estado sometido aquí, me pregunto cómo le habría ido en Estados Unidos. Quizás ni siquiera le habrían dado empleo para someterlo después a presiones.

Cómo desarrollar el sentido de comunidad

Una de las cosas que hay que hacer es desarrollar una nueva forma de pensar y de relacionarnos entre nosotros, y esto va en contra de la economía. Ese es el trabajo que les corresponde a los economistas jóvenes. Si no, van a tener un Plan Colombia 1, después un Plan Colombia 2 y luego un Plan Colombia 3, para tratado

de libre comercio 1, 2 y 3. Es decir, el futuro ya está previsto. Qué van a hacer ustedes, cómo van a cambiar las cosas. Estuve hablando con algunos de los profesores de la Escuela y aparentemente no hay publicidad sobre las nuevas tecnologías destructivas que se están empleando para extraer petróleo y gas hoy en día, y que consisten en inyectar químicos que causan cáncer en las zonas en las que hay petróleo y gas en el subsuelo. Incluso en una película se demuestra que una persona abre la llave del agua de su casa, enciende un fósforo y ésta prende fuego. Ojalá que cuando ustedes comiencen a trabajar traten de hacer algo útil para la gente, pues así sentirán que están aportando al progreso de la sociedad y verán cambios a su alrededor.

Hace muchos años leí una obra sobre las hormigas. Una de las cosas que decían quienes las investigan es que cuando se activa una hormiga, las que están alrededor se contagian y se tornan activas también. Una vez que ustedes empiecen a hacer algo distinto y los que los rodeen comiencen a verlo, se contagiarán y querrán ayudar. Lo otro que puede ocurrir es que ustedes estén liderando alguna organización y otros les pregunten cómo pueden colaborar para hacer algo tan interesante. Quizás así se desarrolle la sociedad que queremos algún día. Pero va a haber traspies, dificultades, situaciones vergonzosas, por lo que se requerirán persistencia y pasión para poder lograr algo. El profesor Sarmiento dijo “Hay que transformar la economía”. Sí, hay que transformarla. Hay que transformarse a sí mismo para transformar a Colombia y al mundo, con el fin de que no haya millones que vivan con US\$2 diarios. Transformemos esta situación y valdrá la pena el costo del viaje para traerme aquí.



Entrevista

Eduardo Sarmiento Palacio

Ingeniero civil de la Universidad Nacional de Colombia y Ph.D. en Economía de la Universidad de Minnesota. Ha consagrado más de cuatro décadas de vida académica al estudio de la economía nacional y mundial. Su dedicación al riguroso análisis económico le ha valido reconocimientos tan significativos como el Premio Alejandro Ángel Escobar, otorgado en 1989 por su obra Nuevos desafíos del desarrollo: fundamentos y políticas; la designación como uno de los quince mejores economistas en la historia del país, hecha por la revista Estrategia Económica en 1992, el Premio Portafolio 2006 al mejor docente y la creación de la cátedra con su nombre por la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, de Tunja.

Para empezar la entrevista, me gustaría que usted me dijera, obviamente a partir de todo lo que ha escrito e investigado, si cree que Colombia tiene buenas proyecciones. ¿Avizora un buen futuro para el país o es pesimista a este respecto?

Soy un optimista condicionado a que se aplique una buena estructura económica. Se podrá decir que fui pesimista en los últimos 20 años, pero no, fui realista; yo anticipé que si el país tomaba el camino del neoliberalismo, no iba a avanzar suficientemente en crecimiento, salario, empleo y sobre todo en equidad. Si hoy en día miramos retrospectivamente, nos damos cuenta de que eso era cierto; en las

dos décadas pasadas, la economía colombiana creció al ritmo más bajo del siglo, el desempleo alcanzó los niveles más altos de América Latina, la pobreza se mantuvo en 50% –totalmente inadecuada para el nivel de desarrollo del país–, y en materia de distribución del ingreso, los resultados son muy decepcionantes: Colombia está entre los tres o cuatro naciones con peor distribución del ingreso en el mundo. La economía crece y evoluciona por debajo de sus posibilidades, la mayoría de la mano de obra está en el desempleo o en la informalidad... Estamos entre los países más inequitativos del mundo, por lo que el futuro no es para nada halagüeño.

Recientemente se publicó un informe de la Cepal sobre la situación de los niños en América Latina: 81 millones de niños están casi en la indigencia. Cuando se habla tanto de la defensa de la niñez y de las políticas sociales, un resultado así es muy preocupante...

Sí. En América Latina y en Colombia hay un gran descuido de las políticas sociales y eso se refleja en un atraso muy grande de la región en dicho contexto. Fue tal la prioridad que se les intentó dar a la eficiencia y al aumento de la riqueza que se dejó a un lado el tema social, pero hoy en día los líderes se están dando cuenta de eso y están tratando de resolver tales problemas sociales a toda carrera. Esto no habría sido necesario si el proceso de crecimiento de desarrollo hubiera tenido un avance paralelo en lo social.

Ha habido un largo proceso de negociación del TLC con Estados Unidos. De hecho, en una reunión que tuvo el presidente Santos con Barack Obama, éste le dio luz verde al tratado y hace poco el Congreso de su país se echó para atrás. ¿Cree que este tipo de acuerdos sí son gana-gana o definitivamente naciones como Colombia quedan en desventaja ante estas potencias?

El TLC ha sido realmente preocupante, a causa del grado de predominio y de influencia de Estados Unidos. El tratado se discutió y aprobó pero todavía no se ha firmado. El presidente Obama dijo que lo firmaría sujeto a una serie de restricciones. Se advierte una gran inseguridad. Lo que pasa es esto: cuando la discusión se inició, durante la administración Clinton, se pensaba que estos tratados eran muy buenos para los países desarrollados. Siempre han existido grandes dudas sobre las ventajas para los países en vías de desarrollo, pero se pensaba que eran favorables para los otros. Pues bien, en los últimos años en Estados Unidos ha habido una fuerte caída del salario con respecto a la productividad, debido al libre comercio y a un desplazamiento de ese país de la actividad industrial. La gente ya se dio cuenta de que ese libre comercio no es bueno y que contribuiría a sacar a Estados Unidos del predominio mundial. A esto hay que agregarle la crisis del 2008, cuando hubo un colapso del modelo de libre comercio, en parte porque la crisis se produjo por un orden económico internacional inadecuado.

Siguiendo con Estados Unidos, ¿qué opina de la legalización de la droga en cuanto a las consecuencias que tendría en la economía, especialmente?

La alternativa sería actuar sobre el consumo a través de procedimientos de salubridad, y en ese contexto se abriría el camino de una cierta legalización, pero eso está muy poco maduro. No hay un ambiente favorable en los países desarrollados, que son los que imponen esas condiciones, para darle un viraje a la política antidrogas, de manera que no pensaría que lo que se hizo en estos últimos 25 años, que no ha sido lo mejor por cuanto Colombia ha corrido con los mayores costos, se vaya a modificar considerablemente porque no hay ambiente para eso en los países desarrollados, en particular en Estados Unidos y Europa.



En el caso hipotético de que se legalizara, ¿haría surgir a los países productores?

No, porque viene de una prohibición, y esa prohibición sube los precios, y esos mayores precios inducen a más producción. Es decir, se está corriendo detrás de un mal que nunca se puede alcanzar. Esa es la situación: se reprime, baja la oferta y sube el precio, lo cual genera más estímulos, entonces se produce en otras zonas, se van a otros países o aparecen otros productos. De manera que cuando hay demanda por un producto es muy difícil restringir la oferta para desabastecerlo, para que no se consuma. Si se aplica esta represión y el precio final de la droga es muy superior a los costos, se van a generar enormes estímulos para el crimen y una serie de datos tendientes a neutralizar las restricciones. En este caso, lo que se gana reduciendo el consumo mediante los mayores precios y el desabastecimiento se va a perder en cierta forma o se va a ganar a cambio de generar gran corrupción en los países productores. Ahora, si ha bajado el consumo y ha habido una ventaja para los países desarrollados, los costos de la corrupción, de la destrucción de la justicia y de la criminalidad han corrido por cuenta de los países productores o a través de los que se da el tráfico, como Colombia y México.

Y en cuanto a la situación de los inmigrantes, ¿cómo ve la participación de ellos en la economía? ¿Puede un país como Estados Unidos sacar de modo categórico a los inmigrantes?

Eso no se puede hacer, pues hay una tradición fuerte, dentro de un marco democrático. No se puede parar dicho fenómeno. Claro que eso ha afectado a Estados Unidos. Incluso puede haber influido en la depresión de los salarios, especialmente en los grupos menos calificados, de manera que es algo que se seguirá presentando, es parte de la democracia mundial y las acciones que se tomen no van a pasar de ser marginales.

Pensando en los ejercicios de prospectiva que se han hecho, y específicamente en el de los objetivos de desarrollo del milenio, estamos a dos o tres años de que se venza el plazo para cumplirlos y parece que no se va a lograr la meta. En Colombia, por ejemplo, están los de Visión Colombia 19, Visión Colombia 32... ¿Esos ejercicios prospectivos son utópicos?

Todos son puntos de referencia, no son escenarios en los que usted dice "Estamos acá y sería bueno tener estos elementos hacia delante". Luego encamina un poco las políticas para lograrlo, pero como no hace todo lo que

debería, entonces no cumple. En general, se piensa que los problemas son más fáciles de resolver de lo que ocurre en la realidad. Es válido decir: estamos en esta situación, sería bueno contar con estos escenarios y para eso deberíamos emprender tales acciones. Eso falla porque usted no tiene buenas teorías que le señalen qué tan intensos deben ser los instrumentos para alcanzar los resultados propuestos y por otro lado los gobiernos, así tengan la teoría correcta y sepan qué tanto deben hacer, terminan por no hacerlo por otra serie de razones coyunturales o por políticos que impiden que las cosas se hagan bien.

En varios de sus libros, sobre todo en este último, usted le dedica un espacio a la esperanza que podría haber en el sector agrario. En un país como Colombia, que terminó por importar lo que en otra época producía, ¿cuál debería ser la política para recuperar el agro?

En el libro sostengo que las teorías para definir las ventajas de los diferentes sectores están equivocadas en el plano conceptual, y esas equivocaciones han recaído especialmente en un país como Colombia, que no ha logrado sacar las ventajas en la industria y la agricultura que sí han conseguido otros países y que los sectores por su misma naturaleza ofrecen. Qué le pasó a la agricultura: Colombia fue una de las naciones con mayor potencial agrícola por las características regionales, la diversidad zonal, etc. Eso se descuidó en parte porque los gobiernos se preocuparon más por el sector urbano, porque la moda era urbanizar las economías y centrarse en sectores como la industria y los servicios. De manera que hay una tendencia general a despreciar un poco la agricultura. En el libro se muestra que la limitación fundamental para la agricultura es la demanda, y que si usted la tiene puede producir adecuadamente en Colombia. En las teorías dominantes se les da predominio a los aspectos de oferta, entonces cuando el sector agrícola tiene problemas, hay una inclinación a decir que la productividad es baja, que las tierras no están en las condiciones adecuadas. Por ejemplo, en el caso de los TLC, éstos lo que hacen es agravar mucho más las condiciones de la agricultura. Colombia renuncia a la protección de la agricultura, a los aranceles, pero al mismo tiempo acepta que Estados Unidos aplique subsidios a la agricultura y de ese modo los abarate. Es una lástima porque el país tenía allí una fuente muy importante de riqueza y de empleo, y en cierta manera la malbarató. En economía, recuperar daños de 20 años es difícil. Si se miran los diferentes sectores, el que menos crece es el de la agricultura. No se debe a los factores naturales sino a un gravísimo error en la política

aplicada, que no entendió nunca cuál era la realidad del sector agrícola y cuál el camino para afrontarlo.

Otro aspecto preocupante sobre el sector de la agricultura es el de los biocombustibles. ¿Cómo ve usted la situación en un futuro si se sigue dando prioridad a la producción de biocombustibles?

El proceso ha resultado costoso, pero lo más preocupante es que va a reducir la oferta de comida. Eso también es discutible. La agricultura ha sido descuidada en todas partes, en particular en los países tropicales, de modo que si usted aplica la tecnología que existe y realmente le da prioridad a la agricultura, pienso que hay espacio para atender las necesidades alimentarias de la población y tener algún margen, si es necesario, para producir energía alternativa, siempre y cuando no vaya a ser mucho más costosa. Lo que pasa es que hoy en día, con los precios de los combustibles, producirlos en cualquier condición es un buen negocio, pero eso no va a durar toda la vida. En resumen, considero que es posible aumentar y suministrar el consumo de alimentos a toda la población, incluso hasta tener un margen, si realmente se aprovecha la disponibilidad de tierra y agua.

Hace más de 20 años se hablaba de la ventaja comparativa; luego, que la ideal no era ésta sino la ventaja competitiva, y finalmente ni lo uno ni lo otro.

Son términos que muchas veces complican las cosas. Por medio de la ventaja comparativa, usted se especializa en unos productos que hace mejor que en otros países e importa aquellos que se hacen mejor en otras partes. Así tendría una ganancia en términos de producción, en empleo, en nivel de vida estable, pero sucede que los productos en los que Colombia tiene ventaja comparativa no cuentan con demanda mundial. Entonces no podemos sustituir lo que importamos en materia de computadores, automóviles, maquinaria, etc., por la producción de yuca, arracacha y café. El país hace la apertura con base en las actividades de la ventaja comparativa y deja entrar masivamente los bienes que antes protegía, es decir, los que producen en mejores condiciones en el exterior. Pues bien, se llenó de productos importados y desplazó la producción nacional. Se especializó en los bienes de ventaja comparativa y cuando advirtió que no se los compraban, todo el esquema fracasó, se acabó con el empleo, se desplazaron la industria y la agricultura (el país importaba más de lo que exportaba), y todo eso llevó al colapso de 1999 y a un cierto estancamiento de la economía que crece por debajo de las posibilidades y, sobre todo, sin empleo ni equidad.

Lo mencionaba usted ahora y es uno de los planteamientos más duros de su libro: el tema de las teorías. ¿Por qué considera que países como Colombia son tan dados a importar teorías propuestas en contextos totalmente diferentes? A pesar de que usted ha dado esa batalla tan larga de insistir en la necesidad de construir un modelo propio, ¿por qué los países mantienen un modelo importado?

Porque no son autónomos, las políticas económicas son impuestas en muchos aspectos por los países poderosos y en particular por el Fondo Monetario Internacional y por el Banco Mundial. Muchas veces las determinaciones del banco central y de los ministros de Hacienda no son más que el cumplimiento de órdenes o recomendaciones que vienen de afuera, de organismos basados en una serie de teorías que se pensaba que eran universales, que eran aplicables y que operaban igualmente en todos los lugares. Pues bien, lo que se ha venido a ver es que las políticas y los comportamientos no son universales, varían de un país a otro, pero lo más grave es que esas teorías, que pretendían ser universales, no solamente están fracasando en naciones en desarrollo, en las emergentes, sino también están funcionando mal en los países desarrollados. Estados Unidos cae en la crisis del 2008 sin ninguna anticipación por parte del banco central y de los eminentes economistas estadounidenses, y luego cae en la recesión, en la que lleva más de tres años y no ha podido superarla. Es un problema científico que prácticamente lo resumo en una línea: se montan teorías basadas en concepciones de equilibrio. Eso es equivocado para los países emergentes y también está resultando así para los desarrollados. Es necesario sustituir esa teoría de equilibrio por una de desequilibrio que implique proposiciones totalmente distintas para el mercado monetario, para las relaciones internacionales, para las prioridades sectoriales, para el estímulo al crecimiento económico, para la generación de empleo y para la solución de las enormes inequidades de estas sociedades.

Se ha vuelto a escuchar en los últimos tiempos que Colombia está a las puertas de un boom petrolero. ¿Usted piensa que el país se encuentra realmente preparado para esta situación?

El país invirtió mucho en petróleo. La prioridad fueron los recursos naturales. Había una gran inversión extranjera para explotación minera que no se ha dado en otras partes y eso ha redundado en mayores descubrimientos de petróleo, mejores exploraciones de carbón, níquel... De manera que esa inversión resultó en un aumento de la producción y de los descubrimientos. En este momento, el sector que

más crece en la economía es la minería. Sin embargo, hay dudas sobre la conveniencia de ese esquema porque en la economía las cosas no son gratis. Se promovió la minería y eso se ha hecho a costa de la industria y de la agricultura. Al final, nos está resultando una estructura económica dominada por la minería, por las rentas e incluso por todos los daños al medio ambiente, y luego, como no hay industria ni agricultura, esta demanda tiene una contraprestación en los servicios, y las necesidades agrícolas e industriales se atienden cada vez más con importaciones. Ese es el modelo que está funcionando, de manera que más que un *boom* en el sector minero, lo que hay es una enorme prioridad en la minería y en los servicios en relación con la industria y la agricultura, y eso tiene un costo grande en materia de empleo.

Hace años que se viene hablando de una reforma a la Ley 100, pero pasa el tiempo y eso no se produce. ¿En qué términos cree usted que urge esa reforma?

La Ley 100, mediante la cual se privatizó la salud y se privatizaron las pensiones, se expidió en 1993; luego esa ley se reglamentó y se ha modificado muchísimas veces, pero el remedio cada vez resulta peor que la enfermedad. El último ensayo se hizo con la emergencia económica del gobierno de Álvaro Uribe, que al final se cayó, y luego la administración Santos hizo prácticamente lo mismo a través de procedimientos de trámite con el Congreso. Pero algo que no se entiende ahora es cómo cuando se discutieron la emergencia y el trámite de la ley no se entró a analizar el estado del sector. Se quiere hacer una gran transformación para mejorar las condiciones de salubridad, pero en ese proceso no hay un diagnóstico correcto, y cuando se presenta el proyecto de ley en el Congreso no se les dice a la gente ni a los legisladores que el sistema está en muy malas condiciones. Hace un año manifesté claramente que lo que le pasaba al sector de la salud era que estaba quebrado. Se había generado una pirámide que dejaba grandes ganancias, que permitía sacar recursos, pero que finalmente, en todos los casos, había llegado a una situación en la que los activos son inferiores a los pasivos.

Así las cosas, se presentan una serie de cambios que en el fondo acaban manteniendo lo que no había funcionado. El mismo sistema que había operado durante 17 años y que estaba quebrado, sin decirle a la gente que esa era la verdadera situación. A estas alturas, se tiene una ley aprobada que en cierta medida sustenta los elementos que llevaron a la gran quiebra del sistema, al gran desfaldo nacional. ¿Quién tiene la culpa? Pues los gobiernos que



no saben lo que están haciendo; los expertos que asesoran al gobierno y a las EPS, que han venido haciendo cambios que no corresponden a la realidad, montados en una teoría equivocada, y finalmente la gran ganancia, la gran pirámide que querían montar, se les derrumba, poniendo a las EPS en una difícil situación. Todo esto a cambio de deteriorar el servicio, de restringir al máximo los beneficios.

Mi última pregunta es en relación con la educación y el proyecto del que se habla últimamente, el de la educación con ánimo de lucro. ¿Qué opina de esa propuesta, que dicen que ha sido exitosa en otros países, pero que en Colombia ha sido muy criticada?

De nuevo se tiene una reforma que no es clara. Precisamente hace poco estuve en la Universidad de Antioquia y en la Universidad de Medellín explicando la inconveniencia de la reforma y señalaba cómo se tiene una teoría de la educación, que se viola totalmente cuando se entrega al sector privado. En primer lugar, al documento del Ministerio de Educación Nacional, cuando analiza los casos exitosos y los fracasados, le falta objetividad. En el caso de América Latina, se refiere a Brasil, México y Chile como los países a los que mejor les ha ido en educación, pero no entra a mirar cuáles son las características especiales. Decir que el mejor camino para la formación superior es el libre mercado impulsado por el capital privado y por el lucro es inadecuado, porque falta el país al que mejor le ha ido en educación, que es Cuba... y ni siquiera lo mencionan. En los exámenes internacionales se encuentra que mientras Brasil, México y Chile alcanzan el 50%, Cuba obtiene 70-75%. Los deja totalmente regados. El lucro individual y el capital llevan a una educación altamente desintegrada que favorece en particular a aquellas personas que tenían ventaja educativa al comienzo porque su familia poseía mayor tradición familiar, porque la madre era educada, porque había un mayor ambiente para el desarrollo de las actividades cognitivas. Pues bien, en un marco de esa naturaleza, donde las condiciones iniciales son mejores para ciertos grupos favorecidos, el mercado premia esas

condiciones iniciales. En las pruebas oficiales se encuentra que los estudiantes de mayores ingresos son los que obtienen los mejores resultados. Si se le da rienda suelta al mercado, éste va a premiar a las personas que tenían condiciones más favorables en materia de adquisición del conocimiento. El resultado es una estructura segregada, que genera un círculo vicioso: la gente con más educación tiene más ingresos y la que tiene más ingresos luego tiene más educación. Se acentúan las desigualdades.

Ya he dado el ejemplo de Cuba, en parte porque ese caso no se comenta ni siquiera en el informe del ministerio. Pero si se mira el caso europeo, se encuentra algo parecido. En el desempeño en los exámenes Pisa, Estados Unidos, el país que gasta más dinero en educación por persona, sale mal librado, no está en los niveles más altos, apenas se ubica en el medio. Los mejores resultados se obtienen en países como Finlandia, donde hay una gran equidad de ingresos y de desempeños escolares. Mientras que en Colombia la diferencia entre el mejor estudiante y el peor es de 10 a 1, en Finlandia sería de 3 a 1. Eso es revolucionario. Y cómo consiguió Finlandia esto: con una educación primaria y secundaria integral, parecida a la de Cuba, en la que todos los estudiantes van a las mismas escuelas sin ninguna diferenciación social y luego la educación superior es totalmente pública, no hay universidades privadas. En ese contexto, se logra la cobertura total porque el Estado suministra los recursos para que todos tengan oportunidades, y lo más importante es que genera calidad a través de la equidad. En cambio, en el planteamiento del Ministerio de Educación Nacional se da la situación opuesta, lo que se busca es promover la calidad mediante el lucro individual y la inyección de capital foráneo. Eso probablemente va a contribuir a mejorar los niveles de educación de los sectores más favorecidos de la población, pero no se va a transmitir a toda ella. El gran mérito de la educación está en el contagio, en las llamadas "externalidades". Si se tiene un pequeño grupo educado, su externalidad va a ser pequeña; si se tiene un grupo grande, ese multiplicador va a ser enorme. La experiencia internacional, sin lugar a dudas, muestra que cuando se unen el capital y el lucro individual, se tienen instituciones muy bonitas, una gran propaganda, pero eso acaba agravando las condiciones de discriminación.

Entrevista

Michael Perelman

Nació en Estados Unidos. Economista de la Universidad de Michigan y de San Francisco State College. Doctor en Economía Agrícola de la Universidad de California, en Berkeley. Autor de numerosos libros, con el primero de los cuales, La agricultura con fines de lucro en un mundo hambriento, inició su ferviente crítica a la economía convencional. Historiador en el ámbito de la economía y conferencista en numerosos encuentros internacionales.

Mi primera pregunta tiene que ver con su percepción de Colombia. Cuando pensó en venir, dijo... ¿"Es un país que promete mucho o es un país en vías de desarrollo que se va a quedar así"?

Debo confesar que no conozco mucho sobre Colombia. El hombre que estaba en una oficina al lado de la mía, Francisco Thoumi, es un experto en el tema del narcotráfico en Colombia y el narcoterrorismo. Trabajó con el doctor Sarmiento en esos temas y por él supe algo de Colombia. Pero también había oído que Bogotá es una ciudad muy hermosa y que tenía fama de acogedora.

¿Conoce la propuesta teórica de Eduardo Sarmiento?

Sí, pero en términos generales, por lo que he podido hablar con él. Todo lo que me ha dicho sobre el modelo económico colombiano ha estado alineado con mi percepción de la forma en que debe operar un modelo económico.

Precisamente al leer sobre usted y al conocer la obra de Eduardo Sarmiento, se encuentra cierta coincidencia en esa percepción del capitalismo que debe tender más hacia lo social, ¿no?

Absolutamente de acuerdo. Ahora los estudiantes me estaban hablando sobre los planes que hay para privatizar la educación en Colombia, lo que haría que el futuro de la educación aquí fuera devastador. En mi país las universidades privadas han hecho muy pobre labor. La mayor parte de los ingresos que tienen las universidades norteamericanas provienen o se derivan de estudiantes que no están interesados en la educación. A ellos les va mejor, en cuanto a ingresos, cuando los estudiantes se niegan a pagar, ya que incurren en mora. Y como los pagos de esos créditos están respaldados por el gobierno, las aseguradoras pagan. Para un grupo selecto de personas hay cursos en línea que sí pueden ayudar a quienes no pueden llegar físicamente a la sede de la universidad debido, por ejemplo, a la distancia o a que están trabajando durante las horas hábiles normales.

Pasando al campo de la economía en América Latina, ¿usted cómo ve los tratados de libre comercio para los países del continente?

En términos muy sencillos, no son apropiados. Estados Unidos ha celebrado tratados de libre comercio con muchos países. Me siento capaz de escribir, de redactar el documento de un TLC en la parte de atrás de un sobre. Pero un documento de 1400 páginas, como el que tiene la mayoría de los tratados, responde más a los intereses particulares de los que le han hecho cabildero y también de personas que ni siquiera lo leen. Yo digo que la gente del común, que está afectada por los tratados, acaba siendo herida o lesionada por ellos. No soy un experto en América Latina, pero según tengo entendido vivió una época dorada que fue precisamente durante la segunda guerra

mundial, cuando Estados Unidos se encontraba enfocado precisamente en otras cosas.

Pero nos han dicho que estos tratados de libre comercio son gana-gana...

Son gana-gana para las dos partes si hablamos de las grandes corporaciones, pero no para la población en general.

Precisamente la noticia económica de hoy es que Estados Unidos le dio luz verde al TLC con Colombia. ¿Qué implicaría ese acuerdo para el país?

El Partido Demócrata de Estados Unidos se ha mantenido opuesto al TLC con Colombia por el tratamiento que han recibido los sindicatos obreros aquí. Yo supondría que se podría firmar si se incluyera una cláusula de protección respecto de tales temas en Colombia, aunque esto no implicaría necesariamente ayudar a que se modificara esa situación en este país.

Para decir esto me baso en lo que ocurrió al cerrarse el TLC entre Estados Unidos y México, en el sentido de que todo lo relacionado con el medio ambiente y con temas laborales se redactó y se incluyó como documento aparte, separado, no de obligatorio cumplimiento. Sospecharía que estos temas también quedarían incorporados así con Colombia.

Pasando a otro tema, cuéntenos qué opina del teletrabajo, esa práctica que se está imponiendo incluso en grandes compañías y que consiste en que los profesionales se instalan en su casa y desde allí prestan sus servicios.

Teóricamente, todos los ingresos se tienen que reportar. A mí me preocuparía más bien el tipo de modelo del que se trate. Cuando se trabaja a destajo o según la necesidad que surja y no con un contrato estable, regular esto hace que sea más difícil llevar a cabo una vida familiar y educar a los niños con esta existencia un poco "itinerante" o de "vagabundo", por decirlo así. Lo que me parece peor aún de esta clase de trabajo es que impide, más que otras, que la gente desarrolle relaciones laborales y trabaje en equipo.

Ahora, no me estoy refiriendo a trabajadores que puedan coser en su casa y vender algo a través de internet, sino a personas que trabajan en oficinas normalmente, que ocupan cargos de rango intermedio o hacen investigación y trabajan por su cuenta para empresas grandes. Mi preocupación general es que, en primer término, esto genera un cierto sentido de aislamiento, y en segundo lugar, hay menos sentido de pertenencia social. En mi opinión, esto permite manipular más a la gente, o aprovecharse de ella, en contraste con la posibilidad de participar en organizaciones como sindicatos, por ejemplo.

En cuanto a cómo regular y cómo contabilizar esos ingresos, me parece que un problema mucho mayor sería cómo dar cuenta de todos los ingresos de las corporaciones multinacionales; por ejemplo, Mickey Mouse vive en Irlanda porque allí los impuestos son bajos. Por eso las grandes empresas, como Microsoft y Google establecen sus sedes en paraísos fiscales y no pagan impuestos.

Todos los países, por obvias razones, están en riesgo de que sus economías colapsen por acción de la naturaleza. En este sentido, le hago dos preguntas: la primera, ¿cómo cree que Japón se va a recuperar?

El pensamiento económico se generó en buena medida luego de un voraz incendio que arrasó prácticamente a Londres en 1666 y que llevó a su rápida reconstrucción. De manera que una ciudad que requirió siglos para crearse se pudo levantar en pocos años después de una catástrofe. Japón le agrega otra dimensión a esta situación catastrófica, que es la radiación nuclear. No sé qué tan grave pueda ser la contaminación radiactiva que hay allí, pero pensemos en lo rápido que se recuperó Europa después de la segunda guerra mundial, y también Japón. Realmente, lo más importante para lograr la recuperación son el conocimiento,



la capacidad y la destreza de la gente. Por ejemplo, podemos comparar lo que ocurrió con los terremotos que hubo tanto en Haití como en Chile. El terremoto chileno fue más fuerte y, sin embargo, no hubo una catástrofe en ese país, mientras que en Haití las consecuencias fueron mayores. Definitivamente, lo que marca la diferencia son la preparación y la capacidad de la gente.

La segunda pregunta es cómo puede una economía frágil, como la de un país en vías de desarrollo, prepararse para esa eventualidad.

Una cosa que me ha sorprendido ver en Bogotá es la gran cantidad de centros comerciales que tienen. Si por lo menos parte de esa energía dedicada a la construcción de centros comerciales pudiera dirigirse más bien a capacitar a la gente, la ciudad estaría mucho mejor preparada para estas eventualidades.

Hay algo que preocupa al sector académico y está relacionado con los problemas de corrupción que tienen los países subdesarrollados: ¿cómo formar un estudiante motivado, con ganas de ejercer la profesión, cuando todos los días se escucha que se roban el tesoro público? ¿Qué deben hacer los profesores y las instituciones educativas para que los alumnos no se desmoralicen?

En primer término, el profesorado no puede darse el lujo de tener una actitud de esa clase, de ese tipo. Debe mantener una actitud positiva, con la idea de que a todos los estudiantes se les ha de ayudar a que encuentren aquello que les permita ser útiles para la vida.

En segundo lugar, hay que procurar mantener la enseñanza y el ámbito en el que se da ésta como algo siempre abierto a nuevas ideas y a la discusión inteligente y creativa, porque es algo importantísimo para evitar esa contaminación exterior del contexto educativo. Yo no esperaría hallar tal interés por ese tipo de ambiente y de creatividad en una “Universidad Chevrolet”.

Entonces, ¿usted cree, como algunas personas, que la corrupción es algo cultural? Porque muchos, en Colombia particularmente, piensan que no hay nada que hacer, que esto no va a cambiar, que los culpables nunca van a ser castigados...

Cuando fui estudiante, influyó en mí un señor de edad que era un verdadero luchador. Cuando él trabajaba para la Secretaría de Estado de Estados Unidos, estaba haciendo una encuesta sobre la vida en las áreas rurales del país y contrató a una joven fotógrafa, Dorothea Lange, que



llegó a ser una de las más famosas de Estados Unidos. El secretario de Estado de ese entonces dijo: “Se queman todas esas fotos”. Y acto seguido se las llevó a la esposa del presidente, Eleonore Roosevelt.

Este señor, Paul Taylor, se dedicó la mayor parte de su vida a luchar contra los dueños del agua. En California ha habido, históricamente hablando, concesiones de tierras y otorgación de títulos de propiedad desde la época colonial española. Allí la tierra no vale ni cinco centavos si no cuenta con irrigación. El escritor Mark Twain dijo una vez: “El whisky es para beberlo; el agua, para pelearla”. Gente sumamente poderosa ha sido dueña del agua. En California ha habido una ley que dice que máximo se puede ser propietario en zonas rurales de 65 hectáreas de tierra con irrigación del gobierno federal. Por ley federal. Y él logró, luchando mucho, que esa ley se mantuviera vigente hasta que murió. Combatió en la primera guerra mundial y sufrió los efectos de los gases venenosos utilizados. Trabajaba tan duro que a las ocho de la noche, a sus más de 80 años, tenía que pegarse con cinta los párpados para poder seguir leyendo. Era un luchador incansable.

Yo publiqué un artículo en una revista norteamericana que se llama *New Republic*, y con ocasión de ese artículo el editor de la revista (de amplia circulación en Estados Unidos) me acompañó a visitar a Paul Taylor. Cuando llegamos, él se la pasó repitiendo “Ustedes son de *New Republic*, de *New Republic*”, y yo pensé: “Se le está yendo la mente”, y luego dijo: “Esa revista hace 25 años me pidió que no les escribiera más”. Así que durante 25 años, en realidad 50, siguió luchando. Lo que quiero decir es que se requiere esa clase de compromiso para poder mantener vigente la lucha y también se necesita apoyo de la gente a ese tipo de luchas, para mantener el compromiso. Y así es como se puede eliminar la corrupción.

El problema radica en que por lo menos en Estados Unidos, uno trabaja un año o dos con respecto a un problema, no logra éxito y lo abandona, lo olvida. Se requiere tozudez, testarudez, para seguir adelante.

Otro problema mundial es el que genera el tráfico y consumo de droga. Suponiendo que se legalizara, ¿cree que esto beneficiaría a los países productores?, ¿que en eso radica el temor de los países consumidores?

En mi libro *La confiscación de la prosperidad estadounidense*, hay un apartado en el que se trata este tema. La denominada “guerra contra las drogas” se desató durante la administración del presidente Nixon. Estaba dirigida principalmente hacia la marihuana, una droga bastante inocua. Pero los que la consumían tendían a no estar de acuerdo con Nixon.

Y lo que en verdad sucede es que esta guerra contra las drogas es un medio por el cual Estados Unidos logra hacer cosas en América Latina que de otra manera no serían tan fáciles de realizar. Entonces, por ejemplo, un país como Colombia permite que ingresen tropas norteamericanas para luchar contra las drogas, pero yo no creo que tengan como su más alta prioridad la lucha contra las drogas. Curiosamente se encuentra uno gente tanto de izquierda como de derecha que está de acuerdo en el sentido de que la guerra o lucha contra las drogas es contraproducente. En Estados Unidos hay muchos votantes a quienes les preocupa la moralidad. Puede librarse una guerra en contra de la sexualidad en la adolescencia, pero ¿qué se lograría? Y yo digo esto como alguien que ha perdido a personas muy cercanas a causa de las drogas, pero a pesar de la guerra contra éstas.



Alcance y política

El objetivo de la Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería es difundir artículos técnicos que contribuyan al desarrollo del país a través de una publicación con alta calidad editorial y rigor científico.

La revista acepta prioritariamente los siguientes tipos de trabajos, que le permiten mantener su categorización:

1. Artículo de investigación científica y tecnológica. Documento que presenta, de manera detallada, los resultados originales de proyectos de investigación. La estructura generalmente utilizada contiene cuatro apartes importantes: introducción, metodología, resultados y conclusiones.
2. Artículo de reflexión. Documento que presenta resultados de investigación desde una perspectiva analítica, interpretativa o crítica del autor, sobre un tema específico, recurriendo a fuentes originales.
3. Artículo de revisión. Documento producto de una investigación donde se analizan, sistematizan e integran los resultados de investigaciones publicadas o no publicadas, sobre un campo en ciencia o tecnología, con el fin de dar cuenta de los avances y las tendencias de desarrollo. Se caracteriza por presentar una cuidadosa revisión bibliográfica.

También admite artículos de las siguientes tipologías:

4. Artículo corto. Documento breve que presenta resultados originales preliminares o parciales de una investigación científica o tecnológica, que por lo general requieren una pronta difusión.
5. Reporte de caso. Documento que presenta los resultados de un estudio sobre una situación particular, con el fin de dar a conocer las experiencias técnicas y metodológicas consideradas en un caso específico.
6. Revisión de tema. Documento resultado de la revisión crítica de la literatura sobre un tema en particular.

Cabe destacar que se privilegian para la revista los tipos de artículos de los numerales 1, 2 y 3.

La revista circula trimestralmente y recibe sólo artículos inéditos. Los trabajos recibidos se someten al concepto de pares académicos y del Consejo Editorial.

Requisitos para la publicación de artículos

Los artículos presentados a la revista deben remitirse por correo electrónico a revista@escuelaing.edu.co, adjuntando los siguientes formatos debidamente diligenciados: autor.doc, clasificación.doc y tipo.doc, cuyos archivos se pueden descargar de <http://www.escuelaing.edu.co/revista.htm>. En este mismo sitio está disponible la plantilla guía que contiene la estructura determinada por la revista para los artículos.

Scope and policy

Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería disseminates technology articles helping to our country development. It emphasises on its high quality print and its scientific rigour. Articles submitted for publication shall be classified into one of the following categories—which allow it keeps its indexation:

1. Scientific and technological research article. These documents offer a detailed description about the original findings of research projects. In general, the usually used structure contains four important sections: introduction, methodology, results and conclusions.
2. Reflection article. These documents present the results of a research project on a specific, interpretative, or critical view by the author about a particular topic by using original sources.
3. Review. A document resulting from a finished research, where the published and/or unpublished findings of investigation in a particular field of science or technology are analysed, systematised and integrated to report the progress and the development tendencies. These documents include a careful bibliographic review.

Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería also accepts the following types of articles:

4. Short article. A brief text presenting the original, preliminary and/or partial results of a scientific or technological study, which normally need to be disseminated as quickly as possible.
5. Case report. A document that presents the results of a study on a specific situation in order to report the technical and methodological experiences considered in a particular case.
6. Thematic review. These documents are the product of a critical review of literature on a particular topic.

Our revista privilege articles as the highlight ones in numbers 1, 2 and 3.

Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería is a quarterly publication that only accepts unpublished articles. The revista submits all the papers to the verdict of two academic peers, who evaluate the article.

Ruling for publication

The article must be sent by e-mail to revista@escuelaing.edu.co with 3 files attached: Author.doc, Classification.doc and Type.doc available in <http://www.escuelaing.edu.co/revista.htm>. There is also a template guide for the structure of the article (template guide.doc).

www.4-72.com.co

472

LA RED POSTAL DE COLOMBIA

► Línea de Atención al Cliente Nacional ◀
01 8000 111210