

## Integración de técnicas de ingeniería en la solución de problemas socio económicos

Diego José Gómez Montoya<sup>1</sup>, Germán Andrés Méndez Giraldo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Maestría en Ingeniería Industrial. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá-Colombia. [djgomezm@udistrital.edu.co](mailto:djgomezm@udistrital.edu.co), [djgomezm@gmail.com](mailto:djgomezm@gmail.com), [gmendez@udistrital.edu.co](mailto:gmendez@udistrital.edu.co)

**Palabras clave:** Pobreza, dinámica de sistemas, modelos matemáticos, diagramas de calidad

### 1. Introducción

La carencia de los recursos, la educación, los factores culturales, la concentración de riqueza, el crecimiento económico y las políticas ineficaces del gobierno, son algunos de los problemas que determinan la pobreza. Es necesario construir a un modelo con un enfoque mixto (cualitativo-cuantitativo) que describa la conducta en las interrelaciones entre las variables. Este modelo se llevará a cabo utilizando diversas técnicas de ingeniería como los diagramas de calidad, los modelos multivariados, las series de tiempo, el cálculo de errores, la consulta a expertos, los procesos de jerarquía analítica y la Dinámica de Sistemas. Las fases se definen a continuación: Revisión de fuentes y autores - para identificar variables que impactan en la Pobreza -, construcción de Diagrama de afinidad entre los factores, medición de la importancia relativa de las frecuencias de las causas en la Pobreza, elaboración de diagrama de Ishikawa y Modelo de Causalidad, establecer Diagrama de Forrester y el modelo matemático que recoge la información (caso colombiano) y conocimiento del comportamiento de las variables de interés en diferentes escenarios. A partir de las tendencias y escenarios, se sugieren modificaciones al modelo, se presentan recomendaciones y posibles políticas para controlar, prevenir y mitigar la Pobreza.

### 2. Marco de referencia

Se pretende concebir la pobreza y la concentración de la riqueza. Debido a la complejidad del problema se utilizan técnicas de calidad para la comprensión de los factores condicionantes y dinámica de sistemas, como referente para el análisis de las interacciones. También se reconocen algunos modelos que han procurado acercarse al entendimiento de situaciones socioeconómicas. Ver en la figura 1 los elementos del marco de referencia como engranajes.



Figura 1. Elementos del Marco de Referencia

## 2.1. Pensamiento sistémico y la dinámica de sistemas

La perspectiva sistémica reconoce múltiples interacciones entre todos los elementos en una situación compleja. En el pensamiento sistémico, un 'sistema' es una red de componentes, complejo, muy relacionados entre sí que presentan propiedades de la sinergia - el todo es más grande que la suma de sus partes -, según Flood and Jackson (1991). El término Dinámica es utilizado por la oposición a estática, y expresa un carácter cambiante. Cuando se habla de la dinámica de un sistema de referencia que se hace para que las diferentes variables que se puede asociar a sus partes sufren cambios a lo largo del tiempo, como consecuencia de las interacciones que tienen lugar entre ellos. Su comportamiento vendrá dado por el grupo de las trayectorias de todas las variables, ver la figura 2 que es sugerida por Aracil (1995).



Figura 2. Comportamiento de un Sistema

Forrester (1961), muestra que la dinámica de sistemas se apoya en tres principios fundamentales: la existencia de bucles de retroalimentación (ver figura 3), las relaciones no lineales entre las variables y la existencia de retrasos en las relaciones entre las variables. Lo anterior es ratificado por Alonso y Álvarez (2000)

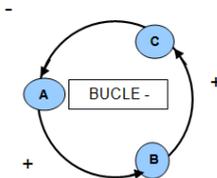
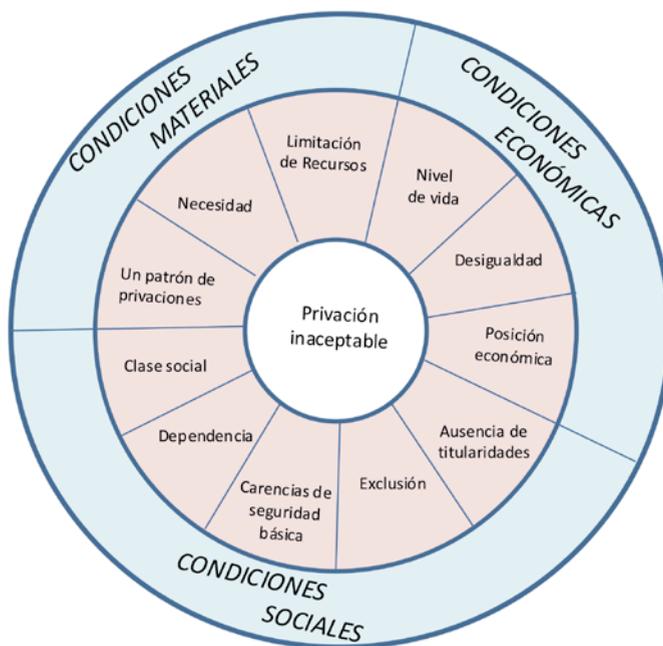


Figura 3. Bucle de realimentación negativa

## 2.2. La pobreza

Es un estado de privación de bienestar, no sólo materiales (consumo de alimentos, vivienda, educación, salud ...), sino también en otras esferas de la vida: la inseguridad personal y de los productos, la vulnerabilidad (a la enfermedad, a los desastres y las crisis económicas), la exclusión social y política, entre otros factores, por lo que puede ser medido en las diferentes formas que oscilan entre los subjetivos y los objetivos, Ramírez y Muñoz (2004). Otro punto de vista por Corredor (1999), asegura que la pobreza es una situación en la cual la persona no satisface sus necesidades físicas (alimento, salud y vivienda), ni aquellas para el desarrollo como persona: inserción social, política, identidad, sentido de pertenencia, acceso a formación y a información. La más completa clasificación y definición de conceptos relacionados con la pobreza, se ha logrado en las ciencias sociales. La pobreza se entiende en al menos doce sentidos específicos (ver figura 4): La pobreza como un concepto material (necesidad, privaciones, limitación de recursos), a pobreza como la situación económica (nivel de vida, desigualdad, posición económica), pobreza como condición social (clase social, dependencia, ausencia de seguridad básica, ausencia de propietarios, exclusión), o pobreza como un juicio moral, de acuerdo a Spicker (2009).



**Figura 4.** Perspectivas de Pobreza

Se encontró que existe una amplia variedad de mediciones asociadas a Pobreza y que dependen de las organizaciones que las proponen y del contexto en el cuál dichas mediciones o indicadores son aplicados, estas medidas son presentadas en su mayoría por Deaton (2006).

**Tabla 1.** Diversas Mediciones de Pobreza

Mediciones de Pobreza	Descripción o Ecuación
Coefficiente de Engel	Es el % de Gasto en alimentos $CE = \frac{\text{GastosLim. entarios}}{\text{GastosTotales}}$ (1)
Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI)	Se cumple una o varias de las siguientes condiciones: Viviendas inadecuadas, Hacinamiento crítico, Servicios inadecuados, Alta dependencia económica o Inasistencia escolar
Incidencia de la pobreza	El % de hogares, o de población, que no alcanza el nivel de la línea de pobreza (LP). La cantidad de pobres es q y la población total N. $H = \frac{q}{N}$ (2)
Matriz Integrada de Pobreza (MIP)	Tiene en cuenta NBI y LP, para segmentar: <b>Pobreza crónica:</b> Las personas son pobres simultáneamente por NBI y LP. <b>Pobreza reciente:</b> Las personas se encuentran bajo la línea de pobreza y no tienen NBI. <b>Pobreza inercial:</b> Las personas están por encima de la LP y tienen NBI. <b>No pobres:</b> Cuando las personas tienen ingresos suficientes y no tienen NBI.
Brecha o intensidad de pobreza	$I = \frac{1}{q} \sum_{i=1}^q \frac{z - y_i}{z}$ (3) donde z denota el valor de la línea de pobreza, q representa el número de pobres y los ingresos del hogar o persona i.
Índice de Sen	$P_i = H[I + (1-I) \times G_p]$ (4) donde H denota la proporción de Pobres, I la brecha de Pobreza y $G_p$ la desigualdad entre pobres
Índice FGT (Foster, Greer y Thorbecke)	$P_a = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^q \left[ \frac{z - y_i}{z} \right]^a$ (5) donde z denota el valor de la línea de pobreza, q representa el número de pobres, N la población, y los ingresos del hogar o persona i, & a una ponderación.
Índice Multidimensional de la Pobreza (IMP) - Oxford	Evalúa 10 indicadores: Nutrición, Mortalidad infantil, años de escolaridad, rol de los niños, combustible para cocinar, baño, agua, electricidad, pisos y recurso; agrupados en 3 dimensiones: Salud, Educación y Estándares de vida.

De acuerdo a la tabla 1 existen varias posibilidades para determinar la magnitud de la Pobreza en una comunidad; algunas mediciones son más concretas y se han utilizado para comparar comportamientos entre diversos años (Incidencia de la pobreza), mientras otras medidas son relativamente nuevas y buscar aproximarse al problema de una forma más integral (Índice Multidimensional de la Pobreza). Ver en la tabla las ecuaciones 1 a 5, asociadas a algunas mediciones.

### **2.3. Modelos asociados a problemas socioeconómicos**

Hasta la década de los 60, se utilizaron modelos econométricos para predecir el futuro de la economía. En el año 1968 Lawrence Klein empieza la investigación con el Proyecto LINK para predecir la trayectoria futura de la economía mundial mediante la unión de modelos nacionales heterogéneos. A partir de 1972 se incrementa el planteamiento de modelos como consecuencia del Primer Informe del Club de Roma, titulado *The Limits to Growth*, por Meadows (1974), para el cual Jay Forrester y Dennis Meadows, del MIT, desarrollan el modelo World 2 formulado desde la Dinámica de Sistemas. Las actualizaciones World 3 y World 3/91 son obra de Dennis Meadows y se presentaron en *Beyond the Limits* de Meadows (1992). Mesarovic y Pestel desarrollaron su World Interdependence Model (WIM), para preparar el Segundo Informe del Club de Roma en el año 1974 con el título *Mankind at the Turning Point*; ellos dividen el mundo en regiones y desarrolla un modelo que considera las relaciones entre estas para predecir la evolución de la economía mundial y los cambios en el medio ambiente durante un intervalo temporal extenso. El International Institute for Applied System Analysis (IIASA), en Laxenburg, Austria, es la sede anual del Global Modeling Symposiums; se ha presentado en este foro una gran cantidad de modelos a partir de 1972.

## **3. Análisis de los expertos y las variables**

Se considero como entrada principal la metodología propuesta por el grupo de investigación Sistemas Expertos y Simulación (SES), de la Universidad Distrital, Bogotá para el análisis de los sistemas productivos, como se presenta en Mendez y Alvarez (2004) y se desarrolla a continuación.

### **3.1. Fuentes bibliográficas y expertos**

Se realizó una búsqueda exhaustiva de las fuentes dedicadas o relacionadas con la pobreza que permitiera conocer los elementos, fenómenos, y condicionantes. Al ser la pobreza un problema tan amplio que afecta en diversos grados de cada comunidad y que se concibe de diferentes maneras y desde diferentes enfoques o disciplinas, se procuró contar con representación de cada posible enfoque: Política, Economía, Ciencias Sociales, Ingeniería, Estadística, etc. Se consultaron 202 fuentes bibliográficas de diversos años de publicación y contextos fueron consultadas, entre ellas Sachs (2005), Bardhan (2006), Ellwood y Summers (1986), Galbraith (1979) y DNP (2000).

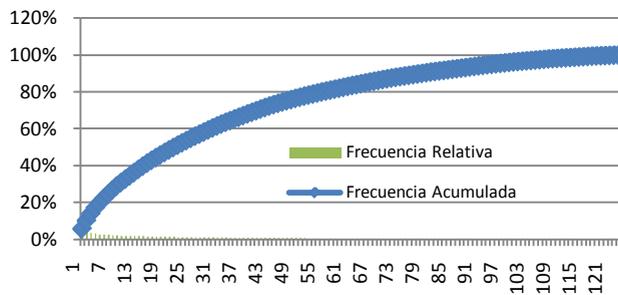
### **3.2 Análisis de incidencias y Pareto**

La consulta de cada una de las fuentes se registro en un formato que permite conocer las relaciones de causalidad entre las diversas variables asociadas a la pobreza. Se obtuvo que de un total de 1972 registros, 1199 variables inciden en pobreza, después de un par de iteraciones para el ejercicio de afinidad el número de variables se redujo a 125. De acuerdo con la frecuencia relativa, se ordenaron las variables incidentes en pobreza, como se muestra en la tabla 2.

**Tabla 2.** Organización de variables por frecuencia relativa

No.	Variable	Suma de Frecuencias	Frecuencia Relativa	Frecuencia Acumulada
1	Educación	113	5,7%	5,7%
2	Ingresos	86	4,4%	10,1%
3	Desigualdad económica	72	3,7%	13,7%
4	Desempleo	63	3,2%	16,9%
5	Salud	51	2,6%	19,5%
9	Capital social	50	2,5%	22,1%
6	Servicios Básicos	47	2,4%	24,4%
7	Activos	45	2,3%	26,7%
8	Crecimiento económico	44	2,2%	29,0%
10	Exclusión	37	1,9%	30,8%
11	Salarios	36	1,8%	32,7%
12	Capital Humano	35	1,8%	34,4%
13	Derechos humanos	35	1,8%	36,2%

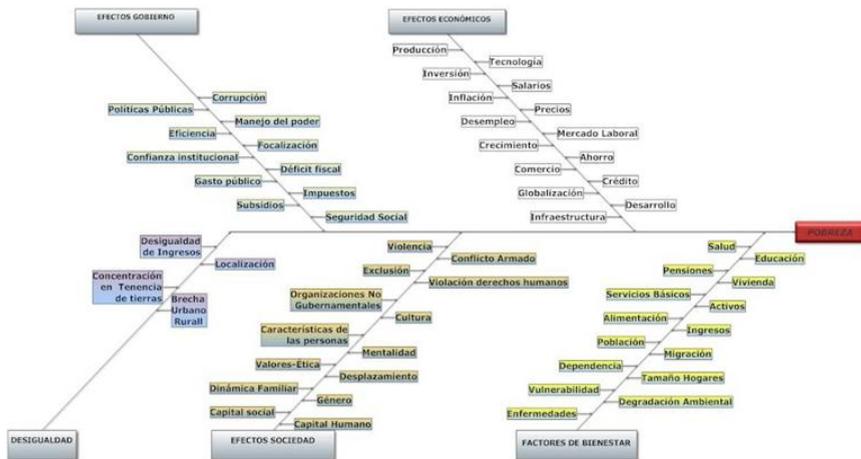
Las primeras 10 variables, representan el 8% del total de las variables, con una frecuencia acumulada de 30, 8%, reflejan un buen nivel de convergencia en los enfoques de los autores. En la figura 5 se aprecia el diagrama de Pareto para las 125 variables.



**Figura 5.** Resultado de análisis Pareto

### 3.3 Análisis de Causas - Efecto o de Ishikawa.

Dado que existen variables con una participación muy baja y que acercarse a ellas en su totalidad no sería muy eficiente, se llevó a cabo un corte hasta que la variable que contribuye en la explicación de la pobreza, completa una frecuencia acumulada de 80%; las variables o causas seleccionadas, fueron organizadas en 5 grandes grupos: efectos económicos, Efectos de sociedad, Efectos gobierno, factores de bienestar y factores desigualdad (ver figura 6).

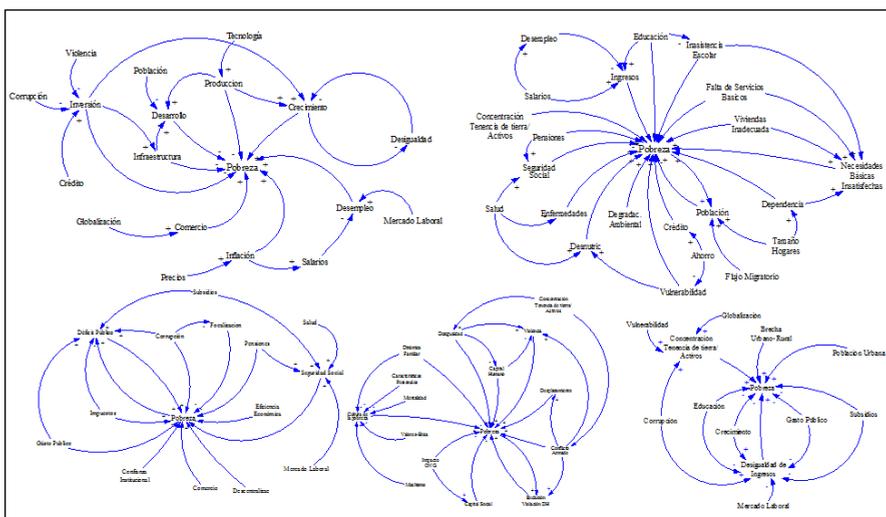


**Figura 6.** Diagrama Causa – Efecto, Pobreza

A las 56 variables seleccionadas inicialmente (80% en la frecuencia acumulada), se añadieron 5 variables más: Población, Brecha Urbano Rural, Desplazamiento, ONG y Déficit Fiscal, debido a su impacto en el contexto Colombiano.

#### 4. Modelo Causal

Tomando como insumo principal las relaciones de incidencia en el diagrama de causa efecto, se llevó a cabo el análisis de la relación de causalidad por medio de diagramas causales. Para facilitar la comprensión cinco diagramas causales detallados se elaboran a partir de los grandes grupos de factores establecidos en la etapa anterior. Las relaciones en estos diagramas se basan en varios estudios consultados durante la elaboración del marco teórico y la revisión de expertos. La figura 7 muestra los diagramas causales.



**Figura 7.** Diagramas causales para grupos de factores

## 5. Modelo de simulación

Un modelo fue elaborado por cada grupo de factores, en los que la variable de respuesta principal fue el número de personas pobres. La figura 8 muestra los modelos elaborados en el software Stella, se utilizaron también técnicas de modelos multivariados y series de tiempo.

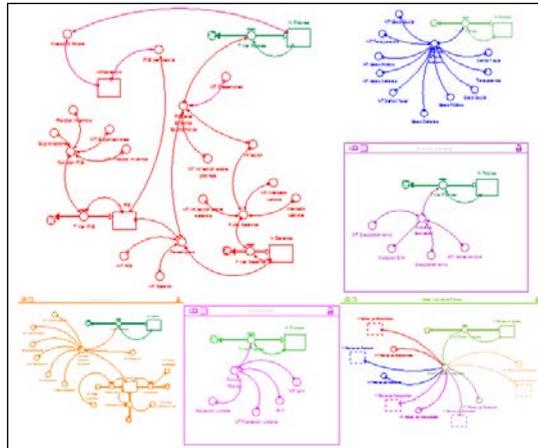


Figura 8. Modelo de simulación continua

Fue necesario contar con un enfoque para integrar los modelos en un modelo único. La técnica AHP (Proceso Analítico Jerárquico) fue elegido, ya que permite recoger el planteamiento de los expertos con respecto a una situación en la que se requiere para priorizar (o para asignar el peso) de varios elementos - en este caso los grupos de factores - [17]. De los 16 expertos consultados, sólo tuvo en cuenta 10 títulos (aquellos cuya Estadístico de la coherencia fue menor a 0,1). Con el peso consolidado de las calificaciones aceptables, los pesos totales se determinaron así: Efectos del gobierno (32,4%), económica (22,1%), los factores de bienestar (18%), la sociedad Efectos (16,8%) y la desigualdad (10, 7%).

## 6. Validación

Los valores reales anuales de las variables se compararon gráficamente para el período 1990 - 2009, frente a las salidas de los modelos utilizados; en la figura 9 se presentan dichas validaciones para algunas variables, donde las líneas rojas representan los resultados de los modelos y las líneas verdes representan los valores reales.

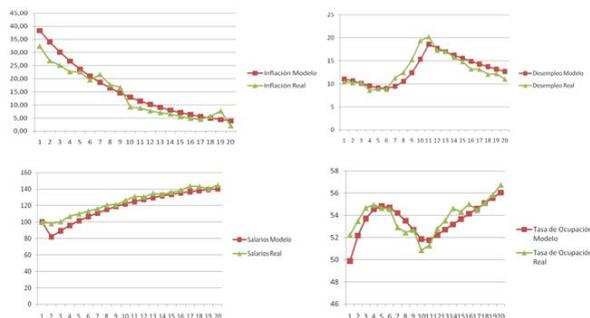


Figura 9. Ejemplos de validaciones

Lo anterior se complementó con el error relativo medio (ERM) de las mediciones de cada variable (ver ecuación 6).

$$ERM = \frac{\sum_{i=1}^n \left| \frac{Valor\_Estimado_i - Valor\_Real_i}{Valor\_Real_i} \right|}{n} \quad (6)$$

El Valor\_Estimado representa las salidas del modelo, el Valor Real representa los datos originales de la variable y n el número de observaciones que deben compararse. Se espera que el valor del ERM sea máximo de 0,1 para garantizar la validez de las estimaciones. La mayoría de ERM fueron aceptables, algunas variables como la inflación, exportaciones, ahorro de los hogares y el déficit fiscal, presentó un valor superior al aceptable, por lo tanto se llevó a cabo el mismo ejercicio con el número de pobres que genera cada grupo de factores, así como el modelo integrado, encontrando que el ERM tiene valores muy bajos - comprendido entre 0,027 (o 2,7%), para el grupo de la Sociedad de Efectos y 0,046 (o 4,6%), para el grupo Factores de Bienestar -. El modelo para el Número de pobres integrado muestra un error medio relativo de 4,2%.

## 7. Análisis de escenarios

Se plantearon tres escenarios posibles para evaluar que va a pasar en los siguientes veinte años del horizonte de validación, es decir, cómo será el comportamiento de las variables en el período 2010 – 2029. El primer escenario (tendencial), revela la trayectoria de las variables estudiadas en el sistema en caso de mantenerse las tendencias que han prevalecido en los últimos años (figura 10).

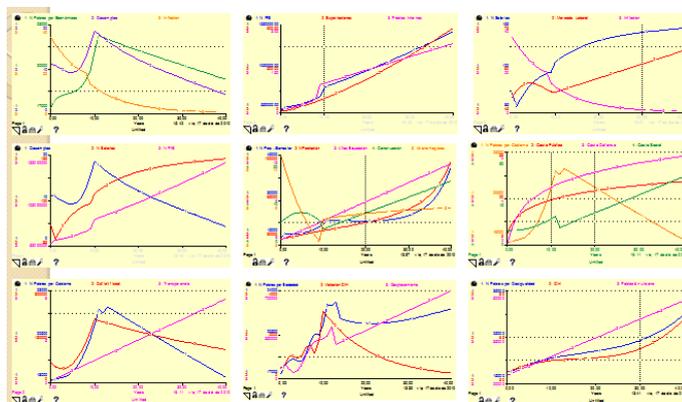


Figura 10. Resultados escenario tendencial

También se evaluó un escenario optimista que consistía en definir comportamientos factibles para las variables a partir del año 2010, que estuvieran en la misma vía de que el número de personas pobres fuera menor; en la tabla 3 se resumen los comportamientos de las variables alteradas a partir del año 2010 con respecto al año anterior, hasta el año 2029. De manera semejante se construyó un escenario pesimista, donde los supuestos en las variables a partir de 2010 elevan el número de pobres.

**Tabla 3.** Resumen del escenario optimista desde 2010

Grupo Factores	Políticas y variables		Comportamiento desde 2010
Económicos	Disminuir el desempleo	Crecimiento de salarios	Controlar Inflación (Constante)
			Incremento en tasa de ocupación
	Aumentos en PIB		Precios con crecimiento constante (de acuerdo a la inflación fijada)
			Elevar exportaciones
			Inflación Fija=3%
			Subida de 0,5 Puntos Anual
			Crecimiento anual 3%
			Se exporta 5% más del valor del año anterior
Gobierno	Menor Corrupción (mayor transparencia)		Función lineal que crece 0,25 puntos por año.
	Mayor participación del gasto social respecto al PIB		Función lineal que crece 0,3 puntos por año.
	Menor Déficit Fiscal		Decremento al 96% del año anterior
Sociedad	Decremento en número de desplazados		Cada año 16000 desplazados menos respecto al año anterior
	Disminución en violaciones al DIH		Cada año 60 violaciones al DIH menos respecto al año anterior
Bienestar	Mejoramiento en años de Educación		Incremento anual de 0,25
	Mejora en el Ahorro de los hogares respecto al PIB		Cada año el valor de los Ahorros representa 0,2 puntos respecto al PIB mas del valor del año anterior
Desigualdad	Menor Concentración de Ingresos		Cada año el Gini disminuye en 0,3
	Caída en el número de personas que conforman la Población Urbana		Decrecimiento de población urbana al 98%, del año anterior

## 8. Conclusiones y recomendaciones

Algunas condiciones desfavorables para la Pobreza (escenario pesimista), nos llevaría a que en 20 años, el país cuente con más de 10 millones de personas pobres que en la actualidad, mientras que si se permite que las condiciones sigan con su tendencia, en 2029 se contaría con un poco más de tres millones de pobres. Cuando la evaluación de un escenario en el que tomar medidas para disminuir el número de pobres, entre el presente y próximos veinte años el número de pobres aumentaría en algo más de medio millón, lo que no es del todo malo si se tiene en cuenta que la población sigue creciendo y que nacen más niños en los hogares pobres que en los hogares no pobres. En la tabla 4 se resumen estos valores.

**Tabla 4.** Número de pobres proyectado según escenarios

Número de Pobres	Valor
Real - En 2009	20'478.373
Según escenario Tendencial (2029)	23'768.610
Según escenario Pesimista (2029)	30'493.660
Según escenario Optimista (2029)	21'024.890

Con esta investigación se estudió y consolidó una propuesta para el estudio de la pobreza - como un problema complejo y multidimensional - que recoge los avances que contribuyeron en la investigación cualitativa, de una gran diversidad de autores de diversas disciplinas y se concentra para luego integrar dichas contribuciones en un modelo que refleja cómo los elementos y diversas variables se configuran en la explicación del número de pobres en Colombia y que permite evaluar escenarios y políticas de prevención y mitigación. El uso

exitoso de los métodos como los diagramas: de Pareto, Ishikawa y causal, los múltiples modelos, la serie de tiempo y Proceso Analítico Jerárquico, refuerzan el impacto de los elementos cuantitativos y de la ingeniería industrial en el estudio de la problemática social.

Las políticas que se proponen en dirección a prevenir y mitigar la pobreza, se fundamentan en: resolver el conflicto armado, la caída en el número de desplazados y en el número de violaciones al derecho internacional humanitario, disminución del desempleo por medio de incentivos que reactivar la economía, abolición de la corrupción, a través de la formación, la promoción de proyectos que tienen incidencia directa en la mentalidad de pensamiento colectivo, fomentando la asociatividad, la cohesión social y la innovación, mejor canalización del gasto público, desincentivos a la desigualdad de ingresos y a la concentración de propietarios. El país debe apostar al desarrollo de la educación de sus habitantes, de manera que el capital humano haga crecer la capacidad de generar ingresos de las personas y tener mayores posibilidades de que las ideas novedosas y eficaces se generarán para la solución de los problemas preocupan a todas las comunidades y para el avance en el desarrollo nacional y regional. También se propone políticas para garantizar el ahorro y para promover el cambio de las condiciones culturales que perpetúan la pobreza.

### **Referencias**

Alonso, Isabel; Álvarez, Yolanda. (2000). El proceso de toma de decisiones en entornos complejos: una aplicación metodológica. Universidad de Oviedo, Facultad de Ciencias Económicas.

Aracil, Javier. (1995). Dinámica de Sistemas. Isdefe.

Bardhan, Pranab. (2006). The global economy and the poor. Oxford University Press.

Deaton, Angus. (2006). Measuring Poverty, Oxford University Press

DNP. (2000). Colombia, fecundidad y pobreza. Departamento Nacional de Planeación.

Ellwood, Daviv; Summers, Lawrence. (1986). Poverty in América. Is welfare the answer or the problem?, Harvard University Press.

Flood, Robert; Jackson, Michael. (1991). Creative Problem Solving, Total Systems Intervention. John Wiley & Sons.

Forrester, J.W. (1961). Industrial Dynamics. Productivity Press.

Galbraith, John Kennet. (1979). The nature of Mass Poverty. Harvard University Press.

Meadows, D. (1974). Dynamics of Growth in a Finite World. Wright-Allen Press.

Méndez, Germán; Álvarez, Lindsay. (2004). Diseño de prototipo diagnóstico para la pequeña y mediana empresa PYME. Editorial Universidad Distrital F.J.C.

Ramírez, J. C.; Muñoz J. E. (2004). La línea de pobreza. Definiciones y procedimientos. Oficina de CEPAL en Bogotá.

Sachs, Jeffrey. (2005). The End of Poverty. Penguin Press.

Spicker, Paul. (2009). Pobreza, un glosario internacional. Colección Clacso – Crop.