

# Aplicación del análisis multivariante para la sostenibilidad ambiental urbana<sup>1</sup>

APPLICATION OF MULTIVARIATE ANALYSIS FOR URBAN ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY

APLICAÇÃO DE ANÁLISE MULTIVARIADA PARA A SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL URBANA

**Loraine Mayrim Giraud-Herrera**

Doctora en Desarrollo Sostenible  
Universidad Simón Bolívar  
lgiraud@usb.ve

**Gioberti Raúl Morantes-Quintana**

Magister en Desarrollo y Ambiente  
Universidad Simón Bolívar  
gmorantes@usb.ve

**Recibido:** 24 de junio 2015

**Aprobado:** 25 de diciembre de 2016

**https://doi.org/10.15446/bitacora.v27n1.52110**

## Resumen

La determinación de las variables ambientales urbanas en el marco de la sostenibilidad ambiental urbana implica la identificación de las posibles variables que inciden de manera crítica en el desarrollo sostenible a nivel de parcelas y edificaciones. Este análisis multivariante aplicado en el sector de Los Palos Grandes, municipio Chacao (Caracas, Venezuela) aborda las siguientes preguntas de investigación: ¿cuáles son las variables ambientales urbanas que influyen en la variabilidad de la sostenibilidad ambiental urbana (SAU)? A partir de la escasa información obtenida, ¿cómo es la relación entre estas variables? El marco teórico fundamental de esta investigación se basa en indicadores SAU para ciudades, y su evaluación se hace a partir de los datos recolectados en el trabajo de campo y los datos extraídos de fuentes de información secundaria. Se levantó la información de factores ambientales y urbanos en 21 manzanas del sector (277 parcelas, aproximadamente el 33% del área total) utilizando el programa SPSS, para luego proponer un modelo de regresión lineal múltiple que prediga la sostenibilidad ambiental urbana a nivel de la parcela. Los resultados obtenidos reflejan cierta coherencia lógica y relaciones vinculadas con la SAU a nivel de la parcela en el sector estudiado.

**Palabras claves:** análisis multivariante, sostenibilidad ambiental urbana, variables ambientales urbanas.

## Abstract

The determination of urban environmental variables within urban environmental sustainability, involves identifying possible variables that affect critically on sustainable urban development in terms of plots and buildings. This multivariate analysis applied to a case study of a section of Los Palos Grandes of Chacao (Caracas, Venezuela) addresses the following research questions: What are the urban environmental variables that influence the variability of Urban Environmental Sustainability (SAU) and how is the relationship between these variables from the limited information obtained? The fundamental theoretical framework is based on indicators for cities SAU and SAU assessment and is made from data collected in field work and data from secondary sources. The data was taken from 21 blocks of LPG industry factors (277 plots, 33% of the total area), using SPSS and then propose a multiple linear regression model to predict urban environmental sustainability at plot level. The results reflect some logical coherence and related relations with the SAU at the farm level in LPG.

**Key words:** multivariate analysis, urban environmental sustainability, urban environmental variables.

## Resumo

A determinação de variáveis ambientais urbanas dentro de sustentabilidade ambiental urbana envolve a identificação de possíveis variáveis que afetam criticamente sobre o desenvolvimento urbano sustentável, em termos de lotes e de edifícios. Esta análise multivariada aplicada a um estudo de caso de uma seção de Los Palos Grandes de Chacao (Caracas, Venezuela) aborda as seguintes questões de investigação: Quais são as variáveis ambientais urbanas que influenciam a variabilidade da sustentabilidade ambiental Urbana (SAU) e como é a relação entre essas variáveis a partir das informações obtidas limitado?. O quadro teórico fundamental é baseado com indicadores para as cidades SAU e avaliação SAU é feita a partir de dados coletados no trabalho de campo e dados de fontes secundárias. Rose e dados ambientais urbanos em 21 blocos de fatores da indústria de LPG (277 parcelas, 33% da área total), usando SPSS e, então, propor um modelo de regressão linear múltipla para prever a sustentabilidade ambiental urbana ao nível da exploração. Os resultados refletem alguma coerência e relações lógicas relacionados com a SAU ao nível da exploração em LPG.

**Palavras-chave:** a análise multivariada, a sustentabilidade ambiental urbana, variáveis ambientais urbanas.

<sup>1</sup> El artículo ha sido desarrollado en el marco de la tesis Doctoral *Diseño de un sistema integrado de indicadores de sostenibilidad ambiental para el ámbito municipal*. Doctorado en Desarrollo Sostenible de la Universidad Simón Bolívar (USB, Caracas, Venezuela) realizado por la profesora Loraine Giraud Herrera.

## Introducción

Las formas de medición de la sostenibilidad urbana son resultado de múltiples enfoques y marcos ordenadores de carácter metodológico, que arrojan una diversidad de variables cualitativas y cuantitativas susceptibles de ser medidas, así como metodologías de construcción de indicadores que son difíciles de equiparar con el criterio de comparabilidad. No obstante, a nivel mundial existen grandes esfuerzos en las ciudades para avanzar hacia sistemas de indicadores de sostenibilidad urbana. A nivel micro, hay pocas experiencias que determinen las variables ambientales urbanas en parcelas y que se vinculen con la sostenibilidad ambiental urbana.

### Loraine Mayrim Giraud-Herrera

Urbanista, magister en Gerencia Ambiental y doctora en Desarrollo Sostenible de la Universidad Simón Bolívar (Caracas, Venezuela). Profesora agregada adscrita al Departamento de Planificación Urbana de la misma Universidad. Miembro del grupo de investigación Vida Urbana y Ambiente (VUA-USB) y de la Comisión de Ambiente de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat de Venezuela. Tiene más de veinte años de experiencia profesional en la gestión y gerencia de proyectos de innovación en temas sociales, ambientales y urbanos.

### Gioberti Raúl Morantes-Quintana

Ingeniero Ambiental y magister en Desarrollo y Ambiente. Profesor instructor del Departamento de Procesos y Sistemas de la Universidad Simón Bolívar, con experiencia en docencia e investigación.

La necesidad impostergable de identificar y de medir la situación de insostenibilidad de los asentamientos humanos venezolanos requiere de un sistema integrado de indicadores basado en un modelo de ciudad sostenible adaptado a la historia, la estructura y la dinámica urbana de cada una. Para ello se requiere, en una primera fase, levantar y validar la información primaria y secundaria de ciertas variables que es escasa, y que apunten a medir su funcionamiento bajo un enfoque integral y sistémico, además de indicadores que midan las causas, los estados, los impactos y las respuestas, así como las interrelaciones entre cada una de las dimensiones, especialmente a nivel de manzanas y parcelas, donde se considera que podría realizarse una renovación o intervención específica que vaya orientada hacia la ruta de la sostenibilidad. Luego, en una segunda fase, se deben construir los indicadores a nivel de cada ciudad y posteriormente, en una tercera fase, llevar a cabo un intercambio y seguimiento de los indicadores frente a los avances y retrocesos que están sufriendo las mismas.

Las formas de medición del desarrollo sostenible a nivel urbano con énfasis en la dimensión ambiental requieren hacer operacionales las variables mediante indicadores e índices vinculados con las ciudades sostenibles en los aspectos ecológicos, ambientales y urbanos. Lo anterior exige comprender qué tipos de indicadores de sostenibilidad ambiental urbana (ISAU) se han utilizado y cuáles han sido las experiencias metodológicas aplicadas para la medición de este tipo de desarrollo.

El análisis de la sostenibilidad ambiental en la parcela y en la edificación sugiere que se identifiquen y se evalúen las posibles variables ambientales urbanas en el marco de la sostenibilidad ambiental urbana con la aplicación de técnicas de análisis multivariante y contrastarlas con técnicas de carácter cualitativo.

Por todo lo anteriormente descrito, se establece como el objetivo de esta investigación obtener un modelo de regresión lineal múltiple que mida la sostenibilidad ambiental urbana en el sector de Los Palos Grandes, Caracas, Venezuela, a partir de la pregunta ¿cuáles son las variables ambientales y urbanas que influyen en la variabilidad de la sostenibilidad ambiental urbana, y cómo es la relación entre estas variables?

## Sostenibilidad ambiental urbana y sus implicaciones en la ciudad sostenible

Girardet (2001) define una ciudad sostenible como una relación armónica entre la ciudad, su gente y la naturaleza. Para ello, se requiere de grandes esfuerzos vinculados a todas las personas (mente, cuerpo y espíritu), al predominio sobre la gestión a largo plazo, a la actuación que cumpla con los principios de precaución y uso responsable de los recursos, a la estimulación de la diversidad entre las sociedades, a la protección fundamentada en la justicia y equidad, y al manejo adecuado de las actividades humanas viables en las escalas apropiadas.

La ciudad es un sistema complejo donde se desarrollan actividades humanas y se generan efectos ambientales. El urbanismo es un factor importante de presión sobre los ecosistemas (PNUMA, 2002). El ambiente y los recursos naturales son utilizados como alimentos, energía y bienes para satisfacer las necesidades y demandas de la población, así como las actividades económicas que se desarrollan en las ciudades, generando residuos orgánicos, inorgánicos y emisiones.

Las ciudades deben planificarse bajo un enfoque de la gestión y administración de la sostenibilidad ambiental de los recursos. Para ello, es necesario evitar a toda costa la degradación ambiental que están generando las ciudades y aplicar políticas, estrategias, planes y proyectos innovadores relacionados con la recuperación ambiental de los ecosistemas afectados. Es urgente y necesario incorporar los aspectos ambientales en las políticas urbanas, y en la construcción de las ciudades bajo un enfoque de sustentabilidad ambiental, económica, social y político-institucional mediante el análisis de las relaciones entre el urbanismo y los ecosistemas, teniendo en cuenta formas de medición, evaluación y monitoreo con modelos de indicadores de sostenibilidad urbana.

La aproximación a una ciudad sostenible no puede verse sesgada por alguna dimensión de la sustentabilidad, es decir, la dimensión ambiental urbana no puede separarse de la dimensión social, ni mucho menos de las dimensiones política-institucional y económica. La sustentabilidad urbana debe estar interrelacionada entre las distintas variables que inciden en cada una de las dimensiones y estas entre sí.

Las variables que deberían ser consideradas en el proceso de planificación urbana ambiental obedecen a una racionalidad en el uso del recurso y, para ello, es necesario incluir en el análisis el flujo de energía y materiales (entradas, procesos y salidas del sistema) aunado con los aspectos sociales, políticos, institucionales, económicos, de transporte y de estructura urbana.

El concepto de sostenibilidad ambiental urbana ha abierto una nueva visión o perspectiva integral, transversal y a largo plazo. Inclusive, es preciso medir si el capital de los recursos naturales puede soportar indefinidamente el desarrollo urbano actual. Para ello, es imperante relacionar la demanda de los recursos ne-

cesarios para satisfacer las necesidades de los habitantes de las ciudades a través de indicadores e índices que midan estas relaciones e interacciones complejas (Bettini, 1998).

Si se exhorta a alcanzar la sostenibilidad ambiental urbana en Venezuela es indispensable repensar las variables que condicionan el desarrollo urbano e identificar las vinculaciones posibles, estableciendo nuevas variables ambientales urbanas y evaluaciones ambientales de carácter estratégico necesarias en el proceso de planificación y gestión ambiental urbana para no comprometer la viabilidad ambiental a futuro.

## VARIABLES AMBIENTALES URBANAS EN EL MARCO DE LA SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL URBANA EN VENEZUELA

Lamentablemente el desarrollo de las ciudades en Venezuela ha sido desordenado y requiere la incorporación de variables ambientales urbanas en los procesos de planificación y gestión que respondan a las condiciones ambientales del lugar (Pérez, 1999). Grimaldi (1994) señala que las Variables Urbanas Fundamentales (V.U.F.) son las siguientes: los usos e intensidades del suelo urbano, las dimensiones de la parcela, las dimensiones de los lotes, las áreas de construcción y de ubicación, el área libre de la parcela, los retiros (laterales, frente y fondo), la altura de la edificación y el estacionamiento.

El artículo 87 de la Ley Orgánica de Ordenación Urbanística (Congreso de la República de Venezuela, 1987) de Venezuela define las V.U.F. para las edificaciones así: el uso propuesto en la ordenanza de zonificación, la densidad bruta de población, los retiros de frente, laterales y de fondo, las alturas de la edificación, los porcentajes de ubicación y construcción, y las restricciones por seguridad o por protección ambiental. Estas y las variables ambientales deberían estar previstas en las propias ordenanzas, y en los instrumentos legales de regulación y control de las edificaciones, no obstante, el componente o la variable ambiental expresada en esa Ley es la denominada en función de las restricciones o por protección ambiental, dejando un margen muy amplio a la interpretación de cada actor sobre las variables ambientales en el ámbito urbano. La presente investigación propone un modelo que comprenda la construcción y verificación de ciertas Variables Ambientales Urbanas (V.A.U.) en función de los instrumentos de información y planificación existentes para el sector de Los Palos Grandes del municipio Chacao.

Se hace necesaria la obtención, análisis y procesamiento de la información primaria y secundaria para la construcción de las variables ambientales urbanas que, de por sí, son sumamente escasas y desactualizadas. La información primaria se refiere al levantamiento de información directamente en campo, y la información secundaria hace referencia a otros documentos y herramientas de información disponibles: el Sistema de Información Ambiental y de Riesgos (SIGAR), el Plan de Desarrollo Urbano Local (PDUL) (City Plan Consultoría, 2009-2011) y el Plan de Gestión Ambiental

de Riesgos (PGAR) (Alcaldía de Chacao e Instituto Autónomo Municipal de Protección Civil y Ambiente, 2011). Luego del procesamiento de los datos, se procede a la obtención de la información básica de cada parcela del sector de estudio, donde se identifican variables, y condicionantes ambientales y urbanas.

A partir del enfoque teórico descrito y tomando como caso de estudio el sector de Los Palos Grandes del municipio Chacao, se construye un conjunto de Indicadores de Sostenibilidad Ambiental Urbana (ISAU) aplicables a la realidad del sector. Así, se elaboraron 47 fichas de indicadores en función de la información primaria y secundaria obtenida, y procesada. El modelo de la ficha de indicadores diseñados y el listado de los 47 indicadores se muestran en las Tabla 1 y 2 respectivamente.

**Tabla 1.** Ficha modelo de Indicadores de Sostenibilidad Ambiental Urbana (ISAU)

Nombre del indicador:		
Componente:	Variable:	
Definición:		
Definición conceptual y operacional del indicador.		
Objetivo Estratégico:		
¿Por qué y para qué se mide el indicador?		
Metodología:		
¿Cómo se calcula y se mide el indicador?		
Fecha de Actualización:	Tipo de Indicador:	
Año	Indicador de: presión, estado, impacto o respuesta	
Ámbito:	Unidad de Medida:	
Sector urbano		
Fuente:	Valor Actual:	
Primaria o secundaria		
Valores de Referencia:		
Rojo	Amarillo	Verde
Información complementaria:		

Fuente: Giraud, 2015.

**Tabla 2.** Indicadores de Sostenibilidad Ambiental Urbana (ISAU) diseñados para el sector Los Palos Grandes, municipio Chacao

Componentes	Variables	Indicador
Ocupación del suelo y funcionamiento de la ciudad	Población urbana	Tasa de crecimiento de la población municipal
	Usos del suelo e intensidades	Densidad de población (bruta y neta)
		Relación de densidades de población y empleo
		Porcentaje de áreas residenciales multifamiliares
		Equilibrio entre actividades de uso terciario y residencial
		Complejidad urbana
		Compacidad absoluta
	Edificaciones	Superficie edificada por habitante
		Edad de las edificaciones

Componentes	Variables	Indicador
		Estado de las edificaciones
		Dureza de las edificaciones
		Calidad técnica de las edificaciones
	Patrimonio	Edificaciones patrimoniales
Vivienda y hábitat	Vivienda y hábitat	Densidad de vivienda
		Porcentaje de edificaciones ubicadas en asentamientos informales o inseguros
Espacios públicos urbanos y áreas verdes	Espacios públicos urbanos	Espacio público por habitante
	Áreas verdes	Áreas verdes por habitante
		Techos verdes
		Proximidad de áreas verdes y espacios públicos
		Números de árboles por habitante
		Estado del arbolado urbano
		Relación del arbolado público y privado
		Densidad del arbolado urbano
		Permeabilidad del suelo
		Campo visual dirección al Parque Nacional El Ávila/Percepción espacial del Ávila
Diversidad biológica (riqueza)	Riqueza del arbolado	Riqueza específica del arbolado urbano
		Diversidad vegetal del arbolado urbano
Movilidad urbana sostenible	Infraestructura vial	Porcentaje de superficie dedicados a infraestructura vial
		Estacionamiento, paradas y líneas de rutas
Ciclo del agua	Acceso sostenible al agua potable y saneamiento	Dotación de agua potable
		Demanda de abastecimiento de agua
		Gasto de aguas servidas por contribución
Ciclo de energía	Demanda y consumo de energía eléctrica	Consumo de energía eléctrica
		Demanda eléctrica máxima actual
Riesgos siconaturales y tecnológicos	Riesgos	Riesgo de incendio
		Porcentaje de riesgo de inundación
		Porcentaje de riesgo sísmico en edificaciones
		Área de afectación por inundación
		Porcentaje de daños estructurales por sismo
		Microzonificación sísmica
Gestión de residuos sólidos municipales	Recolección de residuos sólidos urbanos	Residuos recolectados por persona
		Residuos sólidos residenciales (RSR) recolectados por habitante
		Residuos sólidos "no residenciales" recolectados por empleado
Calidad del aire y control del ruido	Calidad del aire	Concentración de partículas totales en suspensión (PTS)
		Emisión de dióxido de carbono equivalentes
	Control del ruido	Nivel de ruido
Capacidad institucional, planificación y gestión socioambiental	Participación y organización comunitaria	Tasa de ONGs ambientales por cada 100.000 habitantes

Fuente: Giraud, 2015.

En la Tabla 3 se enuncian las 29 variables predictoras del modelo propuesto, su definición conceptual y operacional. Estas 29 variables son el resultado de usar como insumos los datos levantados en campo, los datos de información primaria y secundaria, y la batería de indicadores diseñados. Dichas variables representan las variables ambientales y urbanas de interés que sirven para construir un modelo multivariante de relación entre los datos cuantitativos.

**Tabla 3.** Variables predictoras del modelo

Variable	Código	Definición conceptual	Definición operacional	Tipo de variable
Tipo de uso del suelo	TIPUSO	Clasificación de diferentes formas de funcionamiento mediante las actividades residenciales, comerciales, industriales, de servicios y otros.	Lectura del plano de tipos de uso del suelo.	Nominal (dummy)
Compacidad absoluta	COMPACT	El nivel de compacidad puede ser definido como la relación entre el espacio utilizable de los edificios (volumen) y el espacio ocupado por la superficie urbana (área).	Para cada edificio, estimar el espacio utilizable (volumen), multiplicando el número de pisos de cada edificio por una constante acordada que representa la altura de cada planta (3 metros). Multiplicar el resultado anterior con la suma del total del área ocupada por los edificios. Dividir por la superficie total del área ocupada en parcelas.	Métrica
Población	POBPARELA	Número de individuos que habitan un área específica y realizan una actividad particular en ella	Resultado de la suma del número de habitantes de cada parcela de Los Palos Grandes con la cantidad de empleados de cada parcela.	Métrica
Número de viviendas	VIVIENDAS	Espacio físico cerrado y cubierto que se construye para obtener refugio y abrigo ante elementos sociales y naturales.	La variable es el resultado de multiplicar el número de pisos de cada edificio por una constante acordada que representa un factor de 2 apartamentos por piso. También se calcula tomando información de la base de datos de catastro del municipio Chacao.	Métrica
Número de oficinas	OFICYLOCAL	Espacio físico cerrado y cubierto que se construye para realizar una actividad de índole económica.	La variable es el resultado de multiplicar el número de pisos de cada edificio por una constante acordada que representa un factor de 2 oficinas/locales por piso. También se calcula tomando información de la base de datos de catastro del municipio Chacao.	Métrica
Permeabilidad del suelo de la parcela	PERMEABLE	Índice Biótico del suelo para un área determinada. Indica la relación entre las superficies en el ciclo natural del suelo y la superficie total de una zona de estudio, y se tiene una clasificación de suelos permeables, semipermeables y impermeables.	Se calcula asignando un valor a cada tipo de suelo, que oscila entre 0 y 1 en función de su grado de naturalidad, siendo 1 el más permeable y el 0 los impermeables. Se le asigna un valor a cada tipo de superficie en la zona estudiada. El índice se calcula mediante la siguiente fórmula: $[\sum (f_i \times a_i) / At]$ , donde $(f_i)$ es el factor del tipo del suelo, $(a_i)$ es el área de la superficie del suelo y $(At)$ es el área total de la zona de estudio.	Métrica
Árboles urbanos	ÁRBOLES	Árbol ubicado en la ciudad.	Conteo de árboles realizado directamente en el sector de estudio.	Métrica
Número de árboles sanos	ARBOLSANO	Árbol que no presenta daño visible por plagas y/o enfermedades.	Valoración cualitativa del atributo "estado del árbol = sano" observado directamente en el sector de estudio.	Métrica
Número de árboles enfermos/intervenidos	ARBOLENER	Árbol que presenta daño visible por plagas y/o enfermedades.	Valoración cualitativa del atributo "estado del árbol = enfermo" observado directamente en el sector de estudio.	Métrica
Número de árboles muertos	ARBOLMUERTO	Árbol que no presenta condiciones de vida.	Valoración cualitativa del atributo "estado del árbol = muerto" observado directamente en el sector de estudio.	Métrica
Número de árboles privados	ARBOLPRIV	Árbol que se encuentra localizado dentro de la parcela.	Conteo de árboles localizados dentro de la parcela.	Métrica
Número de árboles públicos	ARBOLPUB	Árbol que se encuentra en la acera inmediata que limita a la parcela.	Conteo de árboles localizados en la acera inmediata que limita a la parcela.	Métrica
Dotación de agua	DOTAH2O	Dotación de agua en litros por segundo, por parcela, con conexión a la red de agua de la ciudad, según la cantidad de habitantes y el tipo de uso de suelo.	Definición operacional: tomando como base la dotación establecida en la Gaceta Nacional No. 4044 (Ministerio de Sanidad y Asistencia Social y del Desarrollo Urbano, 1988), la población por cada parcela, el número de trabajadores, el tipo de uso del suelo, el número de pisos y el área de ubicación se logra calcular la dotación de agua en litros por segundo para cada parcela de estudio.	Métrica
Consumo de energía eléctrica	ELECTkwh	Consumo de energía eléctrica por habitante al año en Mwh que es demandado por la población de un determinado sector, en un periodo de tiempo establecido. Indica los Mwh consumidos al año sin tomar en cuenta el tipo de uso del suelo (comercio, oficina, educacional, entre otros).	La variable es el resultado de multiplicar la población individual estimada por parcela por una constante acordada que representa un factor de 14,7493 Mwh/hab para el municipio Chacao.	Métrica
Residuos sólidos recolectados por persona	BASURA	Cantidad de residuos sólidos urbanos que son recolectados por día en el transcurso de un año en un sector. Se le atribuye la generación de estos residuos a la población.	La variable es el resultado de multiplicar los habitantes de cada parcela por una constante acordada que representa un factor de 0,65Kg/(hab*día) y los empleados de cada parcela, otra constante de 0,569 Kg/(empl*día).	Métrica

Variable	Código	Definición conceptual	Definición operacional	Tipo de variable
Emisiones de CO <sub>2</sub> equivalentes	CO <sub>2</sub> EQUIV	Se trata de un indicador de equivalencia que, a partir del consumo eléctrico y del consumo del agua, determina la cantidad de dióxido de carbono emitido a la atmósfera.	La variable es el resultado de multiplicar el consumo de agua potable por una constante acordada que representa un factor de 0,37 KgCO <sub>2</sub> equiv/m <sup>3</sup> agua y el consumo eléctrico por 7,055x10 <sup>-4</sup> Ton métricas CO <sub>2</sub> /Kwh.	Métrica
Ruido	RUIDO	La ausencia de silencio cuando el sonido es considerado desagradable, molesto o dañino.	Lectura del mapa de ruido del municipio Chacao y asignación de un valor particular a cada parcela.	Métrica
Área de afectación por inundación	RIESGO <sub>1</sub>	La probabilidad de inundación de un sector urbano (llámese parcela, manzana, entre otros) está directamente relacionada con el nivel de la pendiente del suelo y la cercanía a cuerpos de agua (ríos, quebradas, entre otros). Se ve intensificada según sea la densidad poblacional en ese mismo sector.	La variable es el resultado de clasificar cada unidad de estudio (parcela, manzana) en tres escalas de densidad poblacional: Alta, Media y Baja (según ordenanza correspondiente al sector). Identificar, para cada unidad de estudio las zonas planas (pendientes menores al 4%) y los aludes de cuerpos de agua, sumarlas y calcular el área de cada zona.	Ordinal
Microzonificación sísmica	RIESGO <sub>2</sub>	La microzonificación sísmica permite determinar la zonas con comportamientos similares ante los movimientos telúricos (Padrón et al., 2013). Sirve para identificar la amenaza sísmica con un mayor nivel de detalle, de manera que se puedan definir recomendaciones precisas para el diseño y construcción de edificaciones sismoresistentes.	Lectura del plano de microzonificación sísmica, se escoge la microzona a la cual pertenece cada unidad de estudio.	Nominal (dummy)
Porcentaje de daños estructurales por sismo	RIESGO <sub>3</sub>	Porcentaje de edificaciones con riesgo alto, medio y bajo por sismicidad en el sector de Los Palos Grandes.	Se obtiene al sumar la vulnerabilidad física de la edificación, la microzonificación sísmica, el grado de magnitud del sismo, el número de pisos de la edificación, la fecha de construcción, entre otros factores.	Métrica
Edad de la edificación	EDADEDIF	Antigüedad de las edificaciones presentes en el sector urbano.	Con base en la información suministrada por la Dirección de Catastro del municipio Chacao, la cual comprende las edificaciones a partir del año 1967 hasta la actualidad, se obtiene un porcentaje a partir de la información de la totalidad de las edificaciones.	Ordinal
Dureza de la edificación	DUREZAEDIF	Evaluación de la estructura y la altura de la edificación, así como la relevancia que le otorga el uso dado y a la ubicación.	Porcentaje calculado a partir de la información suministrada por City Plan Consultoría (2009-2012) sobre la dureza de las edificaciones.	Ordinal
Estado de la edificación	EDOEDIF	Se trata del deterioro de la edificación mediante la identificación de su estado físico, clasificado en buen, regular y malo.	Porcentaje calculado a partir de la información suministrada por City Plan Consultoría (2009-2012) sobre la clasificación del estado de las edificaciones.	Ordinal
Altura de la edificación	ALTURAEDIF	Número de pisos de una edificación.	La variable es el resultado del plano de alturas suministrado por City Plan Consultoría porcentaje calculado a partir de la información suministrada por City Plan Consultoría (2009-2012) y de la base de datos de catastro del municipio Chacao.	Métrica
Densidad neta	DENSIDADPOB	Número de habitantes con respecto a la superficie urbana ocupada por las parcelas.	La variable es el resultado del cociente del número total de habitantes existentes entre la superficie urbana total del sector urbano.	Métrica
Área de la parcela	AREAPARCELA	Superficie del suelo que está claramente limitada por límites legales asignados a una propiedad que se denomina parcela.	Metros cuadrados de superficie ocupados por cada parcela calculados a través del SIGAR.	Métrica
Área de ubicación	AREAUBICACION	Superficie del suelo dentro del área de la parcela que tiene infraestructura construida.	Metros cuadrados de superficie de cada parcela que tienen algún tipo de construcción calculados a través del SIGAR.	Métrica
Área de construcción	AREACONS-TRUCCION	Se define como la superficie construida en una parcela tomando en cuenta todos los niveles o plantas que posee la infraestructura.	La variable es el resultado de multiplicar los metros cuadrados de superficie de cada parcela que tienen algún tipo de construcción por el número de pisos de la misma parcela.	Métrica
Superficie edificada	SUPEREDIFICADA_SPSS	Medida relativa a la distribución espacial de una cantidad de personas en una edificación según su espacio.	Es el área de construcción por el número de pisos entre los habitantes.	Métrica

Fuente: elaboración propia.

# Relación entre modelos de regresión y las Variables Ambientales Urbanas (V.A.U.)

Existen investigaciones sobre la construcción de índices e indicadores ambientales y de desarrollo sostenible utilizando técnicas de análisis multivariante, como el análisis de componentes principales (ACP) y el análisis de conjuntos difusos (DP2) (Escobar, 2006; 2008; Montosa, 2014). Estas se llevaron a cabo en sectores urbanos o a escala de la ciudad, no obstante, a nivel micro (parcelas y edificaciones), la técnica del análisis multivariante podría ser aplicada para determinar las posibles variables ambientales y urbanas que inciden en la sostenibilidad ambiental urbana.

## Metodología

### Tipo y diseño de la investigación

Se trata de un estudio no experimental de tipo prospectivo, donde los sujetos son seleccionados por poseer determinados valores que pueden ejercer cierta influencia y de grupo único (se selecciona una muestra de sujetos que presenten todos los niveles de las variables independientes) con finalidad predictiva sobre la variable predicha (VP) (Montero y León, 2002).

Se establece un diseño transeccional que aplica cuando se recolectan datos en un tiempo único y cuando el propósito es describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado (Hernández, Fernández y Baptista, 2006; Kerlinger y Lee, 2002).

### Variables

La definición de las V.A.U. se obtuvo a partir de los fundamentos teóricos, lo establecido en la Ley, y en los instrumentos de planificación y gestión existentes para el sector de estudio. Por lo tanto, se determinaron 29 variables urbanas y ambientales para el sector de Los Palos Grandes, y su definición conceptual y operacional.

A partir de los valores de referencia investigados se construye una variable dependiente que sirve como predicha en el modelo de regresión usando los indicadores de sostenibilidad ambiental urbana (ISAU) diseñados para el sector estudiado. Para la investigación actual se asignaron con éxito los respectivos valores de referencia a un total de 14 indicadores. Esta variable a predecir o predicha (VP) asigna un puntaje del 0 al 28 el estado actual (ambiental y urbano) de cada parcela de Los Palos Grandes, según sea el valor del indicador de la misma, comparado con sus valores de referencia: se estableció una escala del 0 al 2, donde "0", representado con el color rojo en la ficha del indicador, no cumple con los estándares de la variable evaluada (insostenible). "1", con color amarillo en la ficha, puede cumplir medianamente con el estándar de la variable evaluada (medianamente sostenible) y "2", con

color verde en la ficha, es considerada la mejor opción, en otras palabras, que cumple con los estándares planteados. La VP mide el "deber ser" de cada parcela del sector Los Palos Grandes para la medición de la variable ambiental o urbana. En esta variable, los puntajes más altos se asocian con valores positivos de la dimensión ambiental y urbana de la parcela.

### Población y muestra

Se trabajó en Los Palos Grandes que se ubica al noreste del municipio Chacao, en el Estado Miranda, Venezuela. La unidad de estudio para esta investigación fue la parcela. En el sector existe un total de 63 manzanas, que suman 815 parcelas (12,93 parcelas/manzana), en una superficie de 115,68 hectáreas.

Hernández, Fernández y Baptista (2006) establecen que existen maneras de calcular el tamaño de la muestra a partir del nivel de confianza, el tamaño de la población y el error permitido establecido por el investigador. Siguiendo estos parámetros, el tamaño de la muestra se calculó usando la ecuación de determinación de población (Netquest, 2014). Se tomó un universo de 63 manzanas con un nivel de confianza del 95%, un margen de error del 5% y una heterogeneidad de la población de 50%, resultando en un valor de 21 manzanas.

Definido el tamaño de la muestra, el siguiente paso fue determinar cómo iba a ser escogido el individuo que formaría parte del estudio: a) se dividió la zona de estudio en tres (3) sectores según su homogeneidad en cuanto a los tipos de usos del suelo y a la estructura morfológica de las manzanas, b) se utilizó un muestreo probabilístico tipo tómbola (Hernández, Fernández y Baptista, 2006) en cada sector y c) se escogieron siete (7) manzanas aleatoriamente en cada uno de los tres sectores donde se recolectó la información en campo. La Figura 1 muestra un plano del sector de estudio donde se observa cómo se divide el espacio en los tres micro-sectores según su homogeneidad urbanística.

**Figura 1.** Ubicación de Los Palos Grandes y de micro-sectores de estudio, municipio Chacao



Fuente: Alcaldía de Chacao, 2014.

### Análisis de los datos

Se aplicó un modelo de regresión multivariante que estudia simultáneamente más de dos variables. La regresión lineal múltiple está incluida en los ejemplos de análisis multivariante y su análisis permite establecer la relación que se produce entre una variable predicha y un conjunto de variables predictoras. Al aplicar el análisis de regresión múltiple lo más frecuente es que tanto la variable dependiente como las independientes sean variables

continuas, medidas en escala de intervalo o razón. Otras posibilidades son: a) relacionar una variable dependiente continua con un conjunto de variables categóricas y b) aplicar el análisis de regresión lineal múltiple en el caso de relacionar una variable dependiente nominal con un conjunto de variables continuas (Rodríguez y Mora, 2001).

La anotación matemática del modelo o ecuación de regresión lineal múltiple es la que sigue (Rodríguez, 2011; Pardo, 2001):

$$VP = \alpha + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \beta_3 X_{3i} + \beta_K X_{Ki} + \epsilon_i$$

Ó

$$VP = \alpha + B_1 X_{1i} + B_2 X_{2i} + B_3 X_{3i} + B_K X_{Ki} + \epsilon_i$$

VP: variable a predecir

$\alpha$ : Constante

B: Coeficiente de regresión

$\beta$ : Coeficiente de regresión estandarizado

X: Variable independiente

$\epsilon$ : Residuos

Según Kerlinger y Lee (2002) es necesario que se cumplan una serie de supuestos básicos para que sea viable la aplicación de una regresión lineal múltiple, en consecuencia, se evaluaron los supuestos básicos del modelo de regresión (linealidad, independencia, normalidad, homocedasticidad y no-colinealidad) para confirmar la pertinencia de llevar a cabo el modelo estadístico propuesto.

Se realizó un procedimiento para la detección de posibles datos atípicos y datos perdidos, resolviendo las incongruencias de los mismos. El procedimiento utilizado en el análisis cuantitativo se dirigió a la obtención de un modelo de regresión lineal múltiple que relacionara las variables de interés con otra variable a predecir que midiera de manera numérica el valor actual de cada variable para Los Palos Grandes. Se construyó una matriz de datos y se otorgó un valor a cada una de las 29 variables para cada una de las 277 parcelas del sector, lo cual, sumó un total de 37 variables al tener en cuenta que las variables dummy suman más variables al modelo. Se realizó un análisis previo de la matriz de datos construida que incluye análisis descriptivos de moda, media, mediana, frecuencias, entre otras. Los pasos siguientes incluyeron el análisis e interpretación de los datos cuantitativos a partir de correlaciones, análisis factorial (exploratorio y confirmatorio) y la construcción de un modelo de regresión lineal múltiple.

## Resultados

Los resultados se estructuraron en cinco fases: análisis de correlaciones exploratorio, análisis de componentes principales exploratorio, análisis de correlaciones final, análisis de componentes principales confirmatorio y, finalmente, el modelo de regresión lineal múltiple.

## Análisis de correlaciones exploratorio (ACexp)

Su finalidad es identificar posibles asociaciones o relaciones entre las propias variables, así como relaciones entre las variables predictoras y la VP, la significancia de las relaciones, su sentido, su magnitud y sincronía (Trochim, 2006; Kelmansky, 2009). Para esto se utilizó el coeficiente de correlación lineal de Pearson y se realizó una matriz de correlación entre las 37 variables. Ciertas variables correlacionaron altamente entre sí, como por ejemplo, población con a) dotación de agua estimada para la parcela, b) consumo de electricidad de la parcela, c) residuos, d) consumo de electricidad y e) emisión de CO<sub>2</sub> equivalente. Se evidenció la existencia de colinealidad, es decir, que los predictores del modelo están relacionados, constituyendo una combinación lineal (López, 1998). Cuando hay evidencias de colinealidad (correlaciones > 0,9 – sig p < 0,00) (Goldstein, 1993) es recomendable eliminar algunas variables si se desea aplicar un análisis de regresión *a posteriori* (López, 1998). Esto se puede verificar haciendo un análisis de reducción de dimensiones como: análisis factoriales o de componentes principales. Se evidenció también que al menos 14 variables se correlacionaban estadísticamente de manera significativa con la VP.

## Análisis de componentes principales exploratorio (ACPe)

El objetivo es lograr reducir la cantidad de variables manejadas de manera que se pierda la mínima cantidad de información en el proceso al identificar cuáles pesan en un mismo factor (Kerlinger y Lee, 2002). Se realizó el ACPe al conjunto de las 37 variables. Al comprobar los supuestos necesarios para realizar un análisis factorial (comúnmente se aplica el KMO –Kaiser-Meyer-Olkin– y del Test de Esfericidad de Barlett) resultó que no se cumplían los supuestos necesarios. Se llevaron a cabo otras pruebas estadísticas que indicaran las posibles técnicas de reducción de variables que se podían aplicar a la matriz de datos en cuestión. Se calculó el “determinante de la matriz de correlaciones” y la “matriz de correlaciones residuales”. Para poder aplicar un ACP, el determinante de la matriz de correlaciones debe tender a cero ( $a = 0,000$  para matriz de datos del sector estudiado) y las diferencias entre las correlaciones observadas y reproducidas deben ser mínimas (el porcentaje de residuos debe ser menor al 16% para que se pueda aplicar un análisis factorial) (Gude-Redond, 2014). Para la matriz de Los Palos Grandes el ACPe resultó ser del 15%. Luego de comprobados los supuestos, se realizó un análisis factorial con extracción mediante “componentes principales”.

El ACPe permitió identificar las relaciones existentes entre las variables ambientales y urbanas. Así mismo, permitió agrupar y reducir aquellas variables que pudiesen poseer estructuras significativas en torno a ciertas variables y validar los posibles constructos. Con este análisis se logró agrupar en diez componentes las 37 variables tomadas en cuenta en el modelo. Los diez componentes explican el 80,559% de la varianza total. Tanto el ACexp como el ACPe permiten reducir la gamma de variables manejada de 37 a 25, perdiendo sólo un 19% de información.

## Análisis de correlaciones final (ACfin)

Como se mencionó con anterioridad, para realizar un análisis de regresión es obligatorio evaluar las variables manejadas para conocer si cumplen una serie de supuestos necesarios. Para los casos de análisis de regresión se debe comprobar que las variables no presenten multicolinealidad. La matriz de correlaciones final se hace para comparar las correlaciones entre las 25 variables manejadas hasta este momento y, según las magnitudes y significancias estadísticas que posean estas correlaciones, poder tomar decisiones. A partir del ACfin se eliminaron y rediseñaron algunas variables, reduciéndolas a 21, para ser tratadas en el posterior análisis de regresión.

## Análisis de componentes principales confirmatorio (ACPC)

Su finalidad es evaluar si las 21 variables que han demostrado ser significativas por sus relaciones entre sí pueden reducirse a un set de variables más pequeño, perdiendo la menor can-

tidad de información posible. En un ACP también se evalúa si los resultados obtenidos hasta el momento mantienen una lógica teórica y práctica pues al reducir las variables según ciertos componentes lo que se espera es que las variables que pesen en un mismo componente (con valores  $> 0,5$ ) tengan propiedades o particularidades en común desde un punto de vista teórico y/o práctico. Por ejemplo: población, dotación de agua, consumo de electricidad y emisión de dióxido de carbono equivalente deben ser agrupados por el programa automáticamente en un mismo factor, pues todas las variables tienen algo en común: "la población", es decir, realmente sólo una variable está aportando información al sistema. Con el ACPC<sup>2</sup> se demostró que las 21 variables se podían agrupar en ocho componentes que explicaban el 79,004% de la varianza. Con los resultados del ACPC se logró eliminar una variable por no poseer un peso significativo en los resultados y se pudo reducir a una sola dimensión otras tres variables (todas relacionadas con los árboles). En este punto del análisis cuantitativo las variables de interés para realizar un análisis de regresión múltiple se reducen a 17 (véanse Tabla 4 y Tabla 5).

**Tabla 4.** Cargas para el análisis factorial confirmatorio con rotación Varimax para la matriz de variables de Los Palos Grandes

	Componentes Principales							
	1	2	3	4	5	6	7	8
ResMULTI	0,235	-0,020	0,837	-0,077	0,026	-0,076	-0,011	0,019
Otros usos variados	0,001	-0,011	-0,162	-0,850	-0,121	-0,036	0,006	0,010
Une los tipos educacional con asistencial	-0,002	0,000	-0,044	0,037	0,013	-0,033	0,024	0,981
Comercio-oficina	-0,032	0,144	-0,137	0,055	0,859	-0,237	0,082	-0,102
Residencial-comercial-oficina	-0,037	0,018	-0,066	0,047	0,004	0,925	0,048	-0,036
Número total de personas de la parcela (empleados más habitantes)	0,102	0,957	-0,071	0,024	0,155	0,002	0,011	0,013
Permeabilidad de la parcela	0,320	-0,051	-0,205	-0,083	-0,267	-0,155	0,243	0,064
Ruido promedio atribuible a cada parcela	-0,077	0,228	0,171	-0,233	0,103	0,247	0,678	-0,008
Número total de árboles en la parcela	0,957	0,204	0,124	-0,019	-0,024	0,001	0,017	-0,001
Número de árboles sanos	0,884	0,004	0,203	0,035	-0,017	-0,058	-0,014	-0,019
Número de árboles enfermos y/o con algún grado de intervención	0,683	0,387	-0,014	-0,094	-0,022	0,111	0,006	0,030
Número de árboles privados	0,954	0,105	0,168	0,052	-0,011	0,001	0,004	-0,016
ZONA <sub>3X</sub>	-0,075	0,017	-0,001	-0,025	-0,063	0,049	-0,889	-0,020
Área de afectación por inundación	-0,065	0,017	0,105	-0,099	0,633	0,450	0,294	0,013
Edad calculada para la edificación	-0,126	-0,095	-0,291	0,807	-0,010	0,099	0,036	-0,030
Dureza de la edificación	0,152	0,189	0,586	0,280	-0,002	0,453	-0,128	0,040
Estado de la edificación	0,088	0,081	0,271	0,719	-0,035	-0,052	-0,221	0,101
Área de construcción dividida entre los habitantes (calculada según SPSS)	0,067	0,070	0,759	0,129	-0,216	-0,038	0,157	-0,099
Área de ubicación multiplicada por la altura en pisos (se lee en metros cuadrados)	0,159	0,952	0,078	0,021	0,112	0,055	0,040	-0,024
Área de la parcela en metros cuadrados	0,316	0,807	0,333	-0,073	0,095	0,046	0,120	0,002
Número de pisos (si la variable dice 20, se lee dos pisos)	0,111	0,440	0,545	0,038	0,152	0,494	0,154	-0,016
DENSIDAD_SPSS	0,002	0,428	-0,145	0,138	0,705	0,210	-0,067	0,246

Fuente: elaboración propia.

2 Se comprobaron nuevamente los supuestos para realizar un análisis factorial resultando en un  $KMO = 0,647$ ,  $p < 0,000$ , lo cual, es indicativo de que los datos son aptos para realizar cualquier tipo de análisis factorial (véase Tabla 4).

**Tabla 5.** Pruebas de KMO y prueba de Bartlett del ACPC

Medida de adecuación muestral de Kaiser-MeyerOlkin (KMO)	0,647	
Prueba de esfericidad de Barlett	Chi-cuadrado	0,647
	Aproximado	4931,869
	gl	231
	Sig	0,000

Fuente: elaboración propia.

## Modelo de regresión lineal múltiple

Finalmente, se construyó una variable predictora (VP) del modelo a nivel de parcela a partir de las 17 variables,<sup>3</sup> cuyo objetivo es dar luces para conocer si la parcela es sostenible<sup>4</sup> o no con los datos procesados en SPSS, en función de la escasez de información. Se muestra un modelo de regresión lineal múltiple que relaciona dos conjuntos de variables manejados de maneras diferentes pero con factores en común, todo esto mediante una ecuación que se aproxima a explicar de la mejor manera la relación entre esas variables y la VP para el sector de estudio Los Palos Grandes. La ecuación de regresión representa el comportamiento de un hiperplano en un espacio multidimensional.

El modelo de regresión lineal múltiple obtenido explica el 52% de la varianza de manera significativa a partir de las 11 variables (véase Tabla 6). Dado que existen más de dos variables independientes, la representación gráfica de las relaciones que existen entre ellas y la VP resulta compleja, poco intuitiva, irrelevante y nada útil. La interpretación de las relaciones del modelo es más sencillo de entender a partir de la construcción de la ecuación del modelo lineal (Pardo, 2001).

**Tabla 6.** Modelo de regresión lineal múltiple: sostenibilidad ambiental urbana

Variables	B	Beta	T	Sig. T (p)
(Constante)	19,086		9,566	0,000
Otros usos variados	-3,021	-0,254	-5,091	0,000
Ruido promedio atribuible a cada parcela	-0,153	-0,255	-5,112	0,000
REGR Árbol sano privado Versión 2	0,839	0,293	5,531	0,000
Permeabilidad de la parcela	1,450	0,240	5,417	0,000
Residencial-comercial-oficina	2,542	0,285	5,529	0,000
Residencial multifamiliar	1,895	0,234	4,150	0,000
Estado de la edificación	0,835	0,196	3,840	0,000
Área de la parcela en metros cuadrados	-0,001	-0,417	-4,143	0,000
Número total de personas de la parcela (empleados más habitantes)	0,002	0,312	3,712	0,000
Área de construcción dividida entre los habitantes (calculada según SPSS)	0,008	0,190	3,382	0,001
Número de pisos (si la variable dice 2 se lee dos pisos)	-0,109	-0,188	-2,757	0,006

Nota: R = 0,735; R<sup>2</sup> = 0,540; R<sup>2</sup>ajustado = 0,521; F = 7,603; p = 0,00; = 1,979

Fuente: elaboración propia.

A partir de los datos de la Tabla 5 se construye la ecuación del modelo de regresión:

[Modelo A]

$$VP = \alpha + \beta_1 X_{li} + \beta_2 X_{zi} + \beta_3 X_{zi} + \beta_K X_{Ki} + \epsilon_i$$

[Modelo B: modelo predictivo]

$$VP = \alpha + B_1 X_{li} + B_2 X_{zi} + B_3 X_{zi} + BK X_{Ki}$$

Modelo A:  $VP = 0 - (0.254 \text{ otros usos variados}) - (0.255 \text{ ruido}) + (0.839 \text{ árboles}) + (1.450 \text{ permeabilidad}) + (2.542 \text{ rco}) + (1.895 \text{ resmulti}) + (0.835 \text{ estado}) - (0.001 \text{ áreaparcela}) + (0.002 \text{ población}) + (0.008 \text{ superedificada}) - (0.109 \text{ altura}) + 1.979$

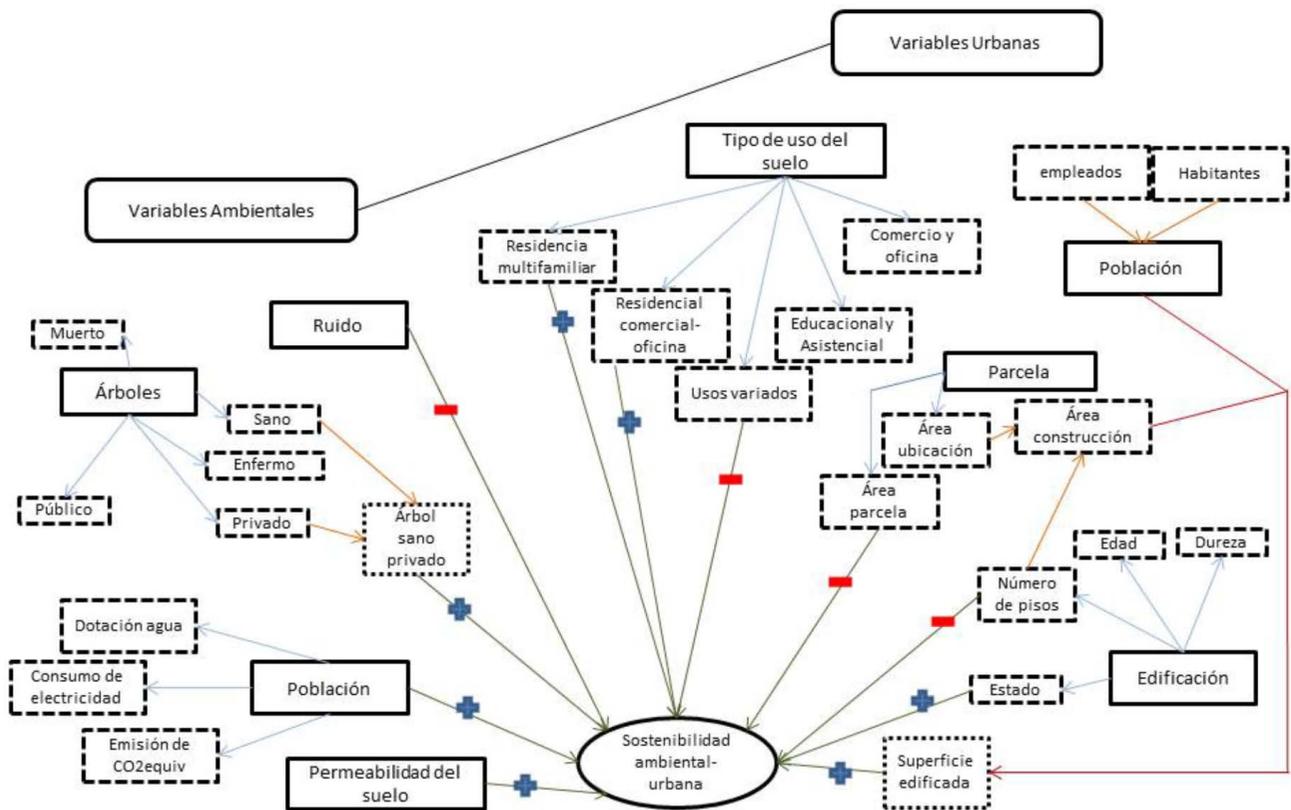
Modelo B:  $VP = 19,086 - (3,021 \text{ otros usos variados}) - (0,153 \text{ ruido}) + (0,293 \text{ árboles}) + (0,240 \text{ permeabilidad}) + (0,285 \text{ rco}) + (0,234 \text{ resmulti}) + (0,196 \text{ estado}) - (0,417 \text{ áreaparcela}) + (0,312 \text{ población}) + (0,191 \text{ superedificada}) - (0,188 \text{ altura})$

VP: Variable a predecir

3 En este conjunto de variables se comprobaron los supuestos de normalidad, colinealidad, homocedasticidad.

4 La sostenibilidad es identificada en una parcela según cumpla en una mayor medida con los valores deseados de las variables ambientales urbanas diseñadas en esta investigación.

Figura 2. Mapa de variables del modelo de regresión de Los Palos Grandes para su sostenibilidad ambiental y urbana



Fuente: elaboración propia.

Otros usos variados: otros usos relacionados con equipamientos, vacantes, estacionamientos, entre otros

Ruido: ruido promedio atribuible a cada parcela

**Árboles:** árboles no muertos ubicados dentro de la parcela

**Permeabilidad:** permeabilidad de la parcela

**Rco:** uso residencial comercial y oficinas

**Resmulti:** uso residencial multifamiliar

**Estado:** estado de la edificación

**Áreaparcela:** área de la parcela

**Población:** población y empleados de la parcela

**Superedificada:** superficie edificada (construcción) de la parcela

**Altura:** altura de la edificación

Con la ecuación del Modelo B se podría predecir la puntuación de la VP que tendría una parcela en Los Palos Grandes sobre la escala que mide el “deber ser” según las variables SAU diseñadas en esta investigación. El Modelo A proporciona una pista muy útil sobre la importancia relativa de cada variable independiente en la ecuación de regresión mediante los valores de los coeficientes estandarizados. Una variable tiene más peso (importancia) en la ecuación de regresión cuanto mayor (en valor absoluto) es su coeficiente de regresión estandarizado (Pardo, 2001). (Véase Figura 2).

## Conclusiones

La aplicación del estudio al caso Los Palos Grandes a partir de la información levantada en 277 parcelas como insumo de datos reales en campo, la revisión de fuentes de información secundaria, el diseño de 47 indicadores de sostenibilidad ambiental urbana (SAU), la selección de 29 variables y la formulación de una variable predictora de SAU, arrojó un modelo de regresión lineal múltiple con 11 variables significativas a nivel de la parcela: área de la parcela, población, usos del suelo (residencial-comercial-oficina, residencial multifamiliar, otros usos variados), superficie edificada por habitante, altura de la edificación, estado de la edificación, nivel de ruido, árboles y permeabilidad del suelo. Esto refleja que dicha variable predictora (denominada SAU) para una parcela de Los Palos Grandes, como variable dependiente, está vinculada con las variables medidas positivas o que contribuyen a la SAU como: número de árboles, permeabilidad de la parcela, uso residencial-comercial-oficina, uso residencial-multifamiliar, población, superficie edificada por habitante y estado de la edificación, mientras que las variables negativas o que desmejoran la SAU están relacionadas con el nivel de ruido, otros usos variados (usos vacantes, estacionamientos, entre otros), el área de la parcela y la altura de la edificación. Los resultados reflejan cierta coherencia lógica vinculados con la SAU a nivel de parcela en el sector de estudio.

La necesidad y el esfuerzo por aplicar una metodología cuantitativa para la aproximación de la realidad compleja e integral de la ciudad en el marco del desarrollo sostenible es un argumento concluyente que se mantiene en esta investigación.

Aquí, la estrategia cuantitativa se enfoca en el proceso del levantamiento de datos en campo y en las fuentes de información secundaria de las manzanas y las parcelas. Se utilizó un modelo de regresión para medir posibles variables predictoras para que una parcela apunte hacia la sostenibilidad, con datos y valores

referenciales descubiertos en las fichas de los indicadores de la investigación cualitativa.

La evaluación de la sostenibilidad ambiental urbana se obtiene con el planteamiento del modelo teórico y el análisis de un estudio de caso mediante la construcción de variables ambientales urbanas propias para el mismo. Posteriormente se contrasta con la aplicación del método cuantitativo para la obtención de un modelo de regresión lineal múltiple a partir del análisis de correlaciones y ACP, y finalmente, la comprensión cualitativa de los resultados obtenidos para ambas secuencias. 

## Bibliografía

- ALCALDÍA DE CHACAO. (2014). *Sistema de Información Geográfico Ambiental y de Riesgos (SIGAR)*. Consultado en: <http://sigar.chacao.gob.ve/ipca/>
- ALCALDÍA DE CHACAO E INSTITUTO AUTÓNOMO MUNICIPAL DE PROTECCIÓN CIVIL Y AMBIENTE. (2011). *Plan de gestión ambiental y de riesgos del Municipio Chacao 2011-2016*. Caracas: Alcaldía de Chacao.
- BETTINI, V. (1998). *Elementos de ecología urbana*. Valladolid: Trotta.
- CITY PLAN CONSULTORÍA. (ed.). (2009-2012). *Plan de Desarrollo Urbano Local del Municipio Chacao. Etapa 2: actualización del diagnóstico urbano*. Caracas: Alcaldía de Chacao.
- CONGRESO DE LA REPÚBLICA DE VENEZUELA. (1987, diciembre 16). *Ley Orgánica de Ordenación Urbanística*. Consultado en: [http://www.ucv.ve/fileadmin/user\\_upload/auditoria\\_interna/Archivos/Material\\_de\\_Descarga/Ley\\_Organica\\_de\\_Ordenacion\\_Urbanistica\\_-\\_33.868.pdf](http://www.ucv.ve/fileadmin/user_upload/auditoria_interna/Archivos/Material_de_Descarga/Ley_Organica_de_Ordenacion_Urbanistica_-_33.868.pdf)
- ESCOBAR, L. (2008). "Indicadores ambientales sintéticos: una aproximación conceptual desde la estadística multivariante". *Gestión y Ambiente*, 11 (1): 21-40.
- ESCOBAR, L. (2006). "Indicadores sintéticos de calidad ambiental: un modelo general para grandes zonas urbanas". *Eure*, XXXII (96): 73-98.
- GIRARDET, H. (2001). *Creando ciudades sostenibles*. Valencia: Gorgona, Tilde.
- GIRAUD, L. (2015). "Diseño de un sistema integrado de indicadores de sostenibilidad ambiental para el ámbito municipal". Caracas, Universidad Simón Bolívar, tesis para optar al título de Doctor en Desarrollo Sostenible.
- GOLDSTEIN, R. (1993). "Conditioning diagnostics: collinearity and weak data in regression". *Technometrics*, 35 (1): 85-86.
- GRIMALDI, L. (1994). *Interpretación y reglamentación de las variables urbanas fundamentales*. Caracas: Equinoccio.
- GUDE-REDOND, A. (2014). *Determinantes del endeudamiento: aplicación al sector español de aguas envasadas*. Oviedo: HiFer.
- HERNÁNDEZ, R., FERNÁNDEZ, C. y BAPTISTA, P. (2006). *Metodología de la investigación*. México: McGraw-Hill.
- KELMANSKY, D. M. (2009). *Estadística para todos. Estrategias de pensamiento y herramientas para la solución de problemas*. Buenos Aires: Ministerio de Educación de la Nación,
- KERLINGER, F. y LEE H. (2002). *Investigación del comportamiento. Método de investigación en Ciencias Sociales*. México: Mc Graw Hill.
- LÓPEZ, E. (1998). "Tratamiento de la colinealidad en regresión múltiple". *Psicothema*, 10 (2): 491-507.
- MINISTERIO DE SANIDAD Y ASISTENCIA SOCIAL Y DEL DESARROLLO URBANO. (1988). "Normas sanitarias para proyecto, construcción, reparación, reforma y mantenimiento de edificaciones". *Gaceta Nacional*, 4044. Consultado en: <http://www.hidroterm.com.ve/documentacion/4044%20norma%20sanitaria/4044-88-1.pdf>
- MONTERO, I. y LEÓN, O. G. (2002). "Clasificación y descripción de las metodologías de investigación en psicología". *International Journal of Clinical and Health Psychology*, 5: 115-127.
- MONTOSA, J. (2014). "Aplicación del análisis multivariante a espacios en transformación: Las periferias de las mayores aglomeraciones urbanas andaluzas". *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 65: 87-112.
- NETQUEST. (2014). *Calculadora de muestras*. Consultado en: <http://www.netquest.com/>
- PADRÓN, C. ET AL. (2013). "La microzonificación sísmica en el proceso de planificación urbana. Caso de estudio: municipio Chacao". *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*, 26 (2): 89-101.
- PARDO, A. R. M. (2001). *SPSS 10.0. Guía para el análisis de datos*. Consultado en: [http://pendientedemigracion.ucm.es/info/socivmyt/paginas/D\\_departamento/materiales/datos\\_multivariante.htm](http://pendientedemigracion.ucm.es/info/socivmyt/paginas/D_departamento/materiales/datos_multivariante.htm)
- PÉREZ, A. (1999). "La variable ambiental urbana: nociones generales y ámbitos de aplicación en Venezuela". *Revista Geográfica Venezolana*, 40 (2): 201-210.
- PNUMA. (2002). *Metodología para la elaboración de los informes GEO Ciudades. Manual de aplicación. Versión 1*. Consultado en: <http://www.unhabitat.org/programmes/agenda21/documents/Metodolog%C3%ADa.pdf>
- RODRÍGUEZ, M. J. y MORA R. (2001). *Estadística informática: casos y ejemplos con el SPSS*. Alicante: Universidad de Alicante.
- RODRÍGUEZ, R. (2011). *Análisis de regresión lineal múltiple*. Consultado en: [http://www.rubenjose-rodriguez.com.ar/wp-content/uploads/2011/10/Analisis\\_de\\_Regresion\\_Lineal\\_Multiple\\_Ruben\\_Jose\\_Rodriguez.pdf](http://www.rubenjose-rodriguez.com.ar/wp-content/uploads/2011/10/Analisis_de_Regresion_Lineal_Multiple_Ruben_Jose_Rodriguez.pdf)
- TROCHIM, W. (2006). *What is the research methods knowledge base?* Consultado en: <http://www.anatomyfacts.com/research/researchmethodsknowledgebase.pdf>