

## MODELOS DE VIAJES A HOSPITALES PUBLICOS ESPAÑOLES COMPARADOS CON LOS MODELOS AMERICANOS

**Geisa Aparecida da Silva Gontijo**  
**Archimedes Azevedo Raia Junior**

Universidade Federal de São Carlos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana

**Cristina López García de Leániz**

Universidad Politécnica de Madrid, Escuela de Caminos Canales y Puertos

### RESUMEN

La implantación de un nuevo Polo Generador de Viajes (PGV) incrementa el tráfico de la zona y cambia el uso del suelo en las áreas cercanas a las cuales está ubicado. Por este motivo resulta conveniente la elaboración de modelos matemáticos para estimar los viajes generados y poder prevenir los impactos negativos. Este trabajo tiene como objetivo principal la elaboración y aplicación de modelos de viajes a través de datos de cuatro hospitales seleccionados de Madrid y compáralos a los resultados de los modelos del *Institute of Transportation Engineers* (ITE) y con los flujos reales. Una vez realizados los análisis y la metodología comparativa, se han verificado que los resultados de los modelos ITE que han sido discordantes con los resultados de los flujos reales de Madrid.

### ABSTRACT

The implementation of new trip generation centers, such as hospitals, increases the traffic and land use changes in areas close to which it is located. For this reason it is convenient the construction of a mathematical model that can be used to estimate the trips generated and to prevent negative impacts. This work has as main objective the development of travel models through data from four selected hospitals in Madrid. The results are compared with the results of the models of the Institute of Transportation Engineers (ITE) and with the actual flows. Once realized the analysis and comparative methodology, it can be verified that the results of the ITE models have been inconsistent with the results of real flows of Madrid.

### 1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de este trabajo forma parte de la Red Ibero-Americana de Estudios en Polos Generadores de Viajes (Rede-PGV). Es un trabajo conjunto entre la Universidad Federal de San Carlos (UFSCar) y la Universidad Politécnica de Madrid (UPM), y la financiación de la Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) y Rede-PGV, de Brasil. La Rede-PGV ha llevado a cabo estudios sobre diversos tipos de Polos Generadores de Viajes (PGVs), incluyendo hospitales generales. El concepto de PGV, aunque es reciente, es un elemento significativo del modelo clásico de simulación de viajes.

Los estudios científicos que se centran en los hospitales, relacionándolos al concepto de movilidad generada, todavía son incipientes en Brasil y España, se pueden resumir en Raia Jr. *et al.* (2008), Gontijo e Raia Jr. (2009), Gontijo e Raia Jr. (2010), Rede-PGV (2011), Raia Jr. *et al.* (2012), CET-SP (1983), Carqueja (2006), Macêdo *et al.* (2002) y Martínez *et al.* (2007). En los Estados Unidos el principal estudio es la metodología ITE (2008), que posee la mayor experiencia en la elaboración de ratios y modelos de generación de viajes.

La movilidad generada en las ciudades ha sufrido grandes transformaciones. Los espacios y reestructuraciones urbanas se han multiplicado así como el número de viajes y distancias recorridas. En los países en vías de desarrollo, los problemas de movilidad son más visibles, pues las inversiones que favorecen los desplazamientos en modos más sostenibles (a pie, en bicicleta y en transporte público) todavía son escasas, en un lo que al final redundaría beneficio a favor de los vehículos privados. Así, los estudios y modelos para los PGVs suelen minimizar los impactos negativos del tráfico.

## 2. POLOS GENERADORES DE VIAJES (PGVs)

Basado en CET (1983) se define como Polos Generadores de Tráfico (PGTs), los establecimientos de gran tamaño, que atraen o producen gran número de viajes, causando efectos negativos en la circulación de su entorno inmediato y, en muchos casos, perjudicando la accesibilidad y las condiciones de seguridad de vehículos y peatones. Estos polos suelen ser de distinta naturaleza y con diferentes variables. Actualmente, el concepto de PGTs se ha cambiado para Polos Generadores de Viajes – PGVs, según Portugal y Goldner (2003).

Por generación de viajes se entiende los viajes realizados por los habitantes que residen o desarrollan una determinada actividad en un área urbana y su cuantificación permite planificar y dotarla de equipamientos. Este estudio se centra en los equipamientos asistenciales, en concreto, los hospitales de la ciudad de Madrid.

El término “generación” significa *Acción de producir o crear una cosa* y el término “atracción” significa *Fuerza para atraer*. Con frecuencia se utiliza el término generación de viajes (puede ser por el hecho de ser traducido del inglés “trip generation”) para describir la acción del desplazamiento, y sería conveniente distinguir si el polo lo produce o lo atrae. Los espacios residenciales serían los polos que generan los viajes, y en este caso los hospitales serían polos atractores de los viajes.

Resulta difícil obtener, de forma directa, el tráfico que atraen estos grandes establecimientos. Para el estudio de la relación que existe entre la producción de viajes y los hospitales se deben examinar las variables que mejor definen y se ajustan al comportamiento de los viajes que atraen. Esas variables forman parte del denominador en los ratios de generación/atracción de viajes que indican numéricamente la relación existente entre los viajes diarios realizados por persona o por vehículo, por unidad o variable explicativa independiente: viajes persona/unidad ó viajes vehículo/unidad.

La competencia de la planificación en materia de salud es del Gobierno de la Comunidad de Madrid Autónoma<sup>1</sup>. Los centros hospitalarios incluyen las actividades destinadas a la prestación de servicios médicos o quirúrgicos en régimen ambulatorio o con hospitalización. El principal plan urbanístico, el Plan General de Ordenación Urbana (PGOU, 1997) divide los equipamientos de salud pública en básicos y singulares. Los equipamientos básicos de salud son las dotaciones destinadas a la atención primaria (los ambulatorios, centros de salud, centros de promoción de la salud, centros de urgencia y consultorios). Los equipamientos singulares de salud son establecimientos sanitarios destinados a la asistencia continuada y especializada en régimen de internado, como los hospitales generales.

## 3. MODELOS DE ATRACCIÓN DE VIAJES

La fórmula matemática más extendida para la elaboración de modelos de viajes es la utilización de las regresiones simples. El ITE, por ejemplo, la utiliza para elaborar sus modelos. Según Montgomery y Runger (2009) el análisis de las regresiones lineales simples es una técnica estadística para modelar e investigar la relación entre una variable dependiente o variable respuesta ( $Y$ ) y una única variable independiente ( $X$ ). El coeficiente de correlación  $R^2$  indica cual es la variable que mejor se adapta a la regresión, así que el coeficiente es una estimación de la exactitud del ajuste de los datos a la curva. Conociendo las variables

---

<sup>1</sup> Concepto territorial y administrativo específico de España, que podría equivaler al concepto regional.

independientes, por ejemplo, los  $m^2$  de superficie, el número de camas, y el número de empleos de un hospital, se pueden estimar los viajes generados.

#### 4. METODOLOGÍA

Este trabajo comienza seleccionando los hospitales madrileños y sus respectivas zonas de transporte en el Sistema de Información Nomenclaltes (SIN, 2010). Posteriormente se solicitaron los datos de los viajes atraídos por cada zona de transporte al Consorcio Regional de Transportes de Madrid (EDM, 2004). Al mismo tiempo, se solicitaron los datos necesarios de los hospitales en la Consejería de Sanidad de la Comunidad de Madrid (CSM, 2011). Los hospitales madrileños fueron elegidos según los siguientes criterios: a) Hospitales construidos antes del año de 2004; b) Hospitales ubicados en áreas más centrales de la ciudad de Madrid; c) Hospitales generales, no especializados; d) Hospitales de titularidad pública y e) Hospitales universitarios. Una vez seleccionados los hospitales, se establece la metodología de estudio basada en tres grupos de análisis, como muestra la Figura 1.

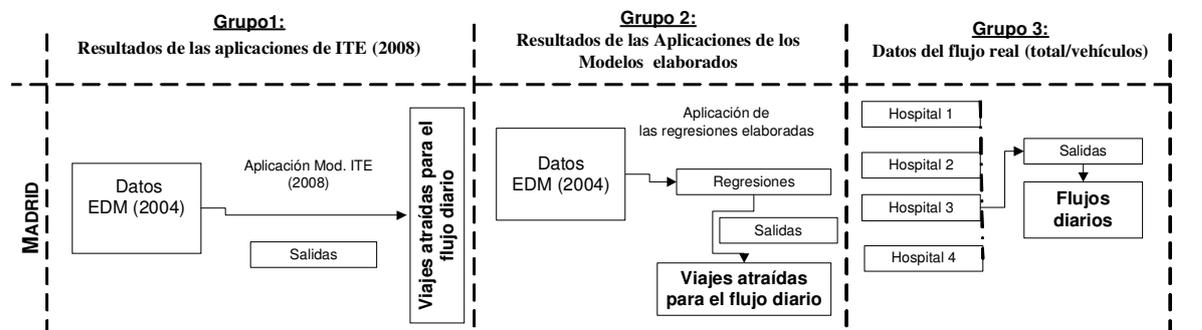


Figura 1: Metodología de estudio

#### 5. ESTUDIO PRÁCTICO

Debido a la escasa experiencia española en la sistematización de los datos de generación de viajes frente a otras experiencias internacionales, la práctica habitual es tomar como referencia la americana del Institute of Transportation Engineering (ITE, 2008) que durante décadas ha ido recogiendo los datos de generación de viajes.

El estudio de la movilidad es complejo y, a pesar de los avances, todavía hay poca información, que se limita a determinados datos estadísticos y a las encuestas de transporte, en las que destacan las Encuestas Domiciliarias de Movilidad (EDM), que son las más idóneas para obtener una imagen completa de la situación socioeconómica y de movilidad del sistema porque afrontan, en las mejores condiciones posibles, el calibrado de los modelos de transporte necesarios para la evaluación de las diferentes políticas o estrategias de futuro que vayan a ser consideradas.

Con los datos obtenidos de Madrid, las variables de los hospitales, los datos del flujo de cada zona de transporte, se han podido aplicar los modelos ITE, determinar el flujo real y elaborar nuevos modelos de viajes para dichos hospitales. En la Tabla 1 se han presentado los modelos ITE (2008) elegidos para ser aplicados en los casos de los hospitales madrileños.

**Tabla 1:** Modelos ITE (2008), código 610 para los viajes diarios

Variables	Modelos/ Vgd	R <sup>2</sup>
m <sup>2</sup> de superficie (ms)	Vgd=10,13 (ms) + 2191,79	0,88
Nº de Cama (nc)	Vgd =7,42 (nc) + 1733,31	0,69
Nº de empleados (ne)	Vgd =4,40 (ne) + 711,46	0,77

Vgd = Viajes generados diarios

### 5.1. Datos y variables de los hospitales de Madrid

En la ciudad de Madrid fueron elegidos cuatro hospitales públicos universitarios (Tabla 2), que cuentan con un número de camas desde 192 hasta 1.120, con una población atendida aproximada de 500.000 habitantes en cada uno de ellos, siendo los hospitales más antiguos de la ciudad, ya que fueron construidos desde el año de 1589 hasta el año 1977. Cada uno de estos hospitales está dentro de una zona de transporte de acuerdo con EDM (2004).

**Tabla 2:** Hospitales elegidos en Madrid

Nombre de los hospitales	Año/inauguración	Zona de Transporte
1-Hosp. Universitario de la Princesa	1975	079-04-067
2-Hosp.Universitario Santa Cristina	1926	079-04-076
3-Hosp.Universitario de La Paz	1964	079-08-195
4-Hosp. Clínico San Carlos	1787	079-09-220

La Tabla 3 muestra un ejemplo de parte de la matriz (origen/destino) del total de viajes según el modo y el motivo prioritario obtenido de la encuesta EDM (2004). Esta matriz fue usada para el cálculo del flujo real y elaboración de las regresiones. Cada zona de destino corresponde a uno de los hospitales. De todos los motivos recogidos en la encuesta de movilidad, sólo se han tenido en cuenta para la elaboración de las regresiones el correspondiente a los viajes con motivo médico (Tabla 3). Claro, que aquí se presenta solamente parte de la matriz, pero la misma incluye todos los modos de transportes y otros motivos de los viajes.

**Tabla 3:** Ejemplo de parte de la matriz total de viajes según el modo y el motivo prioritario

Modo de transporte	Zona de origen	Zona de destino	Motivo del viaje (motivo prioritario)					
			Trabajo	Estudio	Compras	Deporte	Médico	
A pie	079-03-056	079-03-056		29			221	
		079-04-076		65	65			
	Distrito 1: Centro	82						
	Distrito 2: Arganzuela		910	1.004				
	Resto Distrito 3: Retiro	92			207	148		
	Resto Distrito 4: Salamanca						22	
	079-04-067	Resto Distrito 12: Usera		1.056	520			

Fuente: EDM (2004)

A partir de la matriz mostrada en la Tabla 3 se obtiene las sumas de los viajes por todos los modos de transportes. Así ha sido posible elaborar la Tabla 4 con los resultados de viajes correspondientes a cada zona de transporte según el reparto modal.

**Tabla 4:** Viajes reales de los hospitales de Madrid según el reparto modal

Hospitales	Zonas de transporte	Viajes / porcentuales	Modos de transporte				Viajes Totales
			A pie	TP	VP	Otros	
1-Univ. de la Princesa	079-04-067	Viajes/modos	809	3458	1403	1109	6.779
		Porcentual (%)	11,93	51,01	20,70	16,36	100,00
2-Univ. Santa Cristina	079-04-076	Viajes/modos	302	2298	389	373	3.362
		Porcentual (%)	8,98	68,35	11,57	11,09	100,00
3-Univ. de la Paz	079-08-195	Viajes/modos	90	4375	3110	472	8.047
		Porcentual (%)	1,12	54,37	38,65	5,87	100,00
4-Hosp. Clínico San Carlos	079-09-220	Viajes/modos	204	6.147	521	1.357	8.229
		Porcentual (%)	2,48	74,70	6,33	16,49	100,00

TP=Transporte público; VP = Vehículo privado

Fuente: EDM (2004)

En la Tabla 5 se muestran también los datos físicos y funcionales (CSM, 2011) de los hospitales madrileños.

**Tabla 5:** Datos físicos y funcionales de los hospitales de Madrid

Hospitales	Variables independientes			
	m <sup>2</sup> de superficie	1000 pies cuadrados	Número de camas	Número de empleados
1-Univ. de la Princesa	68.621	738,63	560	2143
2-Univ. Santa Cristina	35.523	382,37	192	833
3-Univ. de la Paz	180.000	1.937,50	1120	7000
4-Hosp. Clínico San Carlos	175.000	1.883,69	1023	5825
Promedios	114.786	1.235	724	3.950

Fuente: CSM (2011)

Para la elaboración de los modelos se podría optar por el reparto modal de la Corona Metropolitana, de la Almendra Central o de la Zona de Transporte específica, que son las distintas formas en que se encuentran los datos de viajes de Madrid. Con los datos de viajes totales (Tabla 4) se señala el porcentaje de vehículos privados y de transporte público de cada división, obteniendo los datos de la Tabla 6. Viendo los resultados se prefirió utilizar los datos de las zonas específicas de transporte para las comparaciones finales, pues estos valores se consideraron más reales que los porcentajes de toda la Corona o Almendra Central, principalmente, por representar sólo el flujo de la zona dónde están situados los hospitales.

**Tabla 6:** Datos del Flujo real - Madrid

Hosp.	Viajes Totales	Datos del flujo real/viajes (diarias)					
		Corona Metropolitana		Almendra Central		Zonas de Transporte específicas	
		VP	TP	VP	TP	VP	TP
1	6.779	4.966 (73,26%)	1.813 (26,74%)	2.091 (30,84%)	4.688 (69,16%)	1.403 (20,70%)	3.485 (51,01%)
2	3.362	2.463 (73,26%)	899 (26,74%)	1.037 (30,84%)	2.325 (69,16%)	389 (11,57%)	2.298 (68,35%)
3	8.407	6.159 (73,26%)	2.248 (26,74%)	2.593 (30,84%)	5.814 (69,16%)	3.249 (38,65%)	4.571 (54,37%)
4	8.229	6.029 (73,26%)	2.200 (26,74%)	2.538 (30,84%)	5.691 (69,16%)	521 (6,33%)	6.147 (74,70%)

VP = Vehículos privados; TP = Transporte público

Fuente: EDM (2004)

## 5.2. Aplicación de los modelos del ITE para los hospitales de Madrid

A continuación se utilizan los modelos ITE (2008) vistos en la Tabla 1, con los parámetros de los hospitales de Madrid de la Tabla 5. Este análisis tiene el objetivo de examinar las diferencias entre el tráfico atraído según el modelo del ITE frente las estimaciones hechas a partir del tráfico real.

Para la aplicación de los modelos del ITE (2008), ha sido necesario hacer una conversión de los valores de la variable  $m^2$  de superficie en pies cuadrados. Los resultados obtenidos se recogen en la Tabla 7. En las comparaciones finales, se ha considerado sólo el flujo de viajes que entran, pues en este trabajo solo considera la atracción de viajes.

**Tabla 7:** Resultado de la aplicación de los modelos ITE (2008) para los hospitales de Madrid

Hosp.	pies <sup>2</sup> de superficie	Viajes diarios para cada variables independiente de cada hospital							
		Entran / Salen		Nº de camas	Entran / Salen		Nº de empleados	Entran / Salen	
		50%	50%		50%	50%		50%	50%
1	9674	4837	4837	5889	2944,5	2944,5	10141	5070,5	5070,5
2	6065	3032,5	3032,5	3158	1579	1579	4377	2188,5	2188,5
3	21819	10909,5	10909,5	10.044	5022	5022	31511	15755,5	15755,5
4	21274	10637	10637	9324	4662	4662	26341	13170,5	13170,5

## 5.3. Elaboración de los modelos de viajes para los hospitales elegidos en Madrid

Según los datos de la encuesta EDM (2004), la Comunidad de Madrid tiene una población de 5.975.253 habitantes. En un día laborable normal se producen en la Comunidad 14.511.397 viajes, de los cuales el 68,9% son realizados de forma mecanizada mientras que 31,1% lo hacen de forma no mecanizada. De la movilidad mecanizada, se puede observar que un 50,7% de los viajes son realizados en vehículo privado, mientras que 49,3% son realizados en el sistema público de transportes. Dentro de los distintos transportes públicos, el Metro es el modo mayoritario con 46,1% de los viajes seguido por el sistema público de autobuses (23,6%).

La Tabla 8 presenta los modelos elaborados para los hospitales de Madrid. Para su elaboración se han utilizado los datos de los viajes atraídos diarios como variable dependiente y los datos físicos y funcionales de la Tabla 5 como variables independientes. Se han obtenido buenos coeficientes de correlación en todos los modelos elaborados.

**Tabla 8:** Modelos elaborados con la base de datos de Madrid

Variables	Modelos de los hospitales de Madrid	R <sup>2</sup>
m <sup>2</sup> de superficie (ms)	Vad = 2721,97 * Ln(ms) - 24553,84	0,90
	Vad = 8160,58 - 18275,6 * e <sup>-3,76E-5*ms</sup>	0,99
Nº de Cama (nc)	Vad = 2756,97 * Ln(nc) - 10996,98	0,98
	Vad = 3021,07 + 4,95 * nc	0,89
Nº de empleados (ne)	Vad = 2197,74 * Ln(ne) - 10932,91	0,92
	Vad = 8162,13 - 10632,16 * e <sup>-9,54E-4*ne</sup>	0,99

Vad = Viajes atraídos diarios

### 5.3.1. Análisis de los test estadísticos de los modelos elaborados

Para cada una de las variables estudiadas (*número de empleos, número de camas y m<sup>2</sup> de superficie*) fueron elaborados cuatro modelos matemáticos en la forma lineal, exponencial,

logarítmica y potencial. Pero, solamente algunos de estos modelos tuvieron buenos resultados. Así los análisis estadísticos posteriores muestran la manera que se elegirán los mejores modelos.

Las Tablas 9 y 10 muestran las aplicaciones y los tests de los modelos elaborados con la variable  $m^2$  de superficie. Se puede percibir que los errores de la aplicación de los modelos elaborados se presentaron bajos y con buenos  $R^2$  e  $R^2$  ajustado. A través de los tests estadísticos (Tabla 10) se puede apreciar que los mejores modelos fueron las regresiones logarítmicas (Figura 2) y exponenciales (Figura 3).

**Tabla 9:** Aplicaciones y tests de los modelos con el variable  $m^2$  de superficie

Hosp.	Regresión		R. Linear		R. Potencial		R. Log		R. Exp.	
	$m^2$ superficie	Viajes atraídas	Test	Errores (%)	Test	Errores	Test	Errores (%)	Test	Errores (%)
1	68.621	6779	5351	21,06	5586	17,59	5759	15,05	6766	0,19
2	35.523	3362	4457	32,58	4259	26,68	3967	17,99	3337	0,74
3	180.000	8047	8358	3,87	8311	3,29	8384	4,19	8139	1,13
4	175.000	8229	8223	0,07	8215	0,16	8307	0,95	8135	1,16
R <sup>2</sup> ; R <sup>2</sup> Ajust.			0,78 ; 0,67		0,85 ; 0,77		0,90 ; 0,85		0,99 ; 0,99	

**Tabla 10:** Tests estadísticos de los modelos  $m^2$  superficie

Coef.	V.Ref	a	b	-	V.Ref	a	b	c	V.Ref	a	b	c	V.Ref	y0	A	R0	
ltol	2,920	2,630	2,670	-	2,920	-	0,598	2,906	2,920	3,338	4,243	-	6,314	82,282	7,982	10,714	
P	0,100	0,119	0,116	-	0,100	-	0,610	0,101	0,100	0,079	0,051	-	0,100	0,008	0,079	0,059	
		y = a + b*x					y = a + b*x^c					y = a - b*ln(x+c)					y = yo + A*exp(Ro*x)

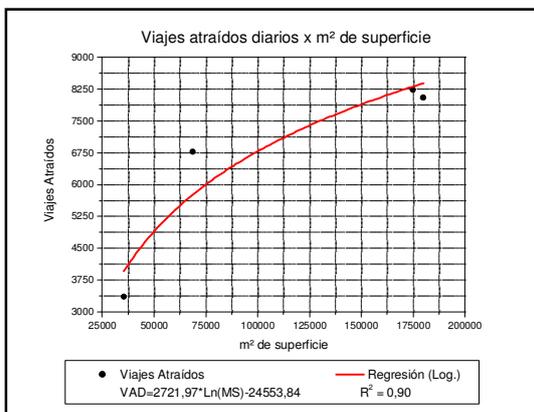


Figura 2: Modelo con la variable ATC

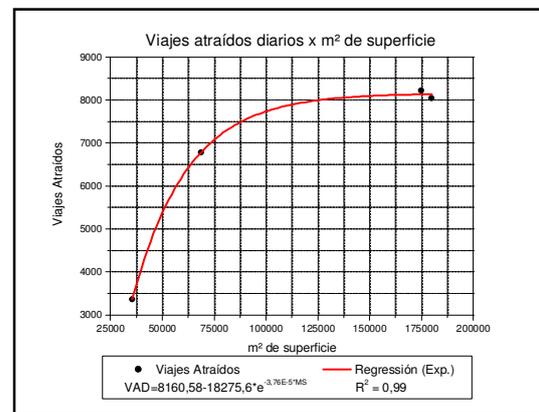


Figura 3: Modelo con la variable ATC

En la Tabla 11 se presenta las aplicaciones, tests y errores de los modelos con la variable *número de camas*. Se puede ver que los errores de las aplicaciones de los modelos también fueron bajos. Como ha sucedido anteriormente estos modelos tuvieron buenos  $R^2$  y  $R^2$  ajustado. A través de los tests estadísticos de la Tabla 12 se puede elegir como los mejores modelos las regresiones lineal (Figura 4) y logarítmicas (Figura 5).

**Tabla 11:** Aplicaciones y tests de los modelos con el variable número de camas

Regresión			R. Linear		R. Potencial		R. Log		R. Exp.	
Hosp.	Camas	Viajes atraídas	Test	Errores (%)	Test	Errores (%)	Test	Errores (%)	Test	Errores (%)
1	560	6779	5793	14,54	6152	9,26	6449	4,87	6783	0,06
2	192	3362	3971	18,13	3776	12,31	3498	4,04	3338	0,71
3	1.120	8047	8565	6,44	8438	4,86	8360	3,89	8174	1,55
4	1.023	8229	8085	1,75	8097	1,61	8110	1,44	8066	2,02
R <sup>2</sup> ; R <sup>2</sup> Ajust.			0,89 ; 0,84		0,95 ; 0,93		0,98 ; 0,97		0,99 ; 0,99	

**Tabla 12:** Tests estadísticos de los modelos con la variable número de camas

Coef.	V.Ref	a	b	-	V.Ref	a	b	c	V.Ref	a	b	c	V.Ref	y0	A	R0
ltol	2,920	3,063	4,086	-	2,920	-	1,655	5,084	2,920	6,957	11,203	-	6,314	27,803	11,171	5,028
P	0,100	0,092	0,055	-	0,100	-	0,240	0,036	0,100	0,020	0,008	-	0,100	0,023	0,057	0,125
		y = a + b*x					y = a + b*x^c						y = yo + A*exp(Ro*x)			

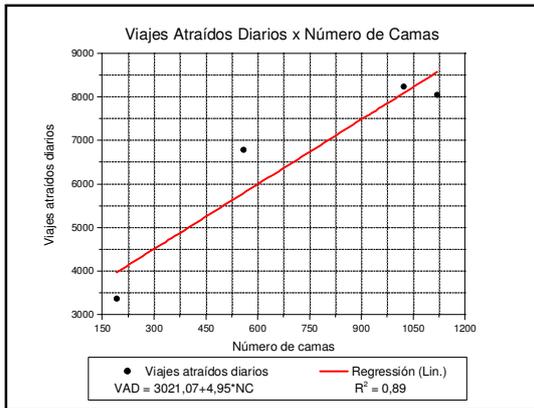


Figura 4: Modelo con la variable NC

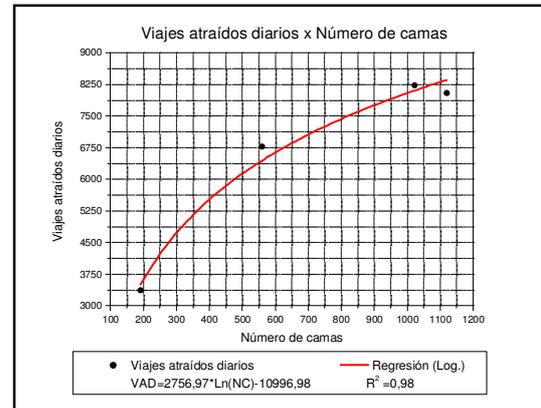


Figura 5: Modelo con la variable NC

En la Tabla 13 se puede ver los resultados de las aplicaciones de los modelos elaborados con la variable *número de empleos*. Se percibe que los erros también fueron bajos y con buenos resultados de R<sup>2</sup> y R<sup>2</sup>-ajustado.

**Tabla 13:** Aplicaciones y Tests de los modelos con la variable número de empleados

Regresión			R. Linear		R. Potencial		R. Log		R. Exp.	
Hosp.	Empleados	Viajes atraídas	Test	Errores (%)	Test	Errores (%)	Test	Errores (%)	Test	Errores (%)
1	2.143	6779	5401	20,33	5547	18,17	5924	12,62	6786	0,10
2	833	3362	4523	34,54	4061	20,79	3847	14,42	3359	0,08
3	7.000	8047	8655	7,56	8198	1,88	8525	5,94	8149	1,25
4	5.825	8229	7868	4,39	7716	6,24	8121	1,31	8121	1,33
R <sup>2</sup> ; R <sup>2</sup> Ajust.			0,75 ; 0,63		0,86 ; 0,80		0,92 ; 0,88		0,99 ; 0,99	

Por último en la Tabla 15 se presenta los tests estadísticos de los modelos con la variable *número de empleos*. Por medio de estos tests se comprueba que los mejores modelos son las regresiones logarítmicas (Figura 6) y exponenciales (Figura 7).

**Tabla 14:** Tests estadísticos de los modelos con la variable número de empleados

Coef.	V.Ref	a	b	-	V.Ref	a	b	c	V.Ref	a	b	c	V.Ref	y0	A	R0	
ltol	2,920	3,133	2,479	-	2,920	-	1,096	3,085	2,920	2,992	4,826	-	6,314	72,446	11,409	9,459	
P	0,100	0,088	0,131	-	0,100	-	0,387	0,091	0,100	0,096	0,040	-	0,100	0,009	0,055	0,067	
		$y = a + b*x$					$y = a + b*x^c$					$y = a - b*\ln(x+c)$			$y = y_0 + A*\exp(R_0*x)$		

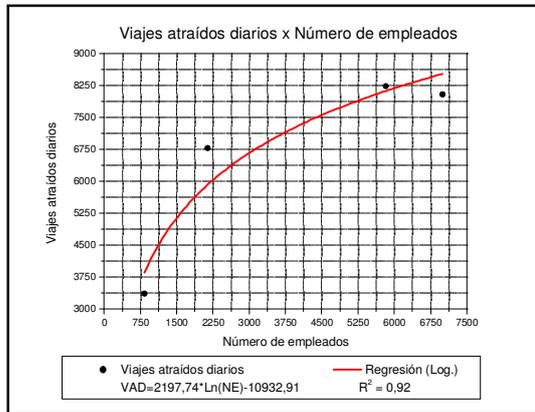


Figura 6: Modelo con la variable NE

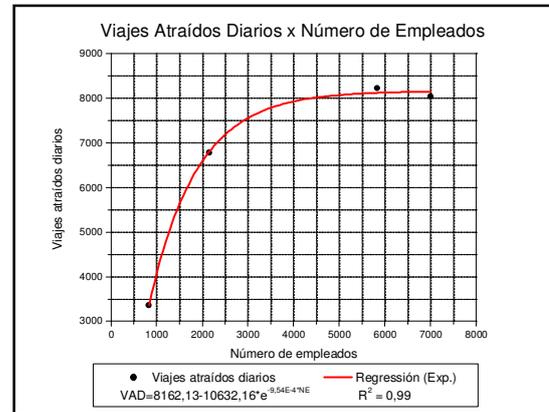


Figura 7: Modelo con la variable NE

### 5.3.2. Aplicación de las regresiones elaboradas

A continuación de la elaboración y tests de los modelos, eligieron una regresión para cada variable explicativa y las aplicaron con los datos de los hospitales de Madrid (Tabla 5), obteniéndose los resultados de los viajes diarios vistos en la Tabla 15. Así, con el objetivo de verificar las diferencias entre los viajes generados de la aplicación de los modelos ITE (2008) y de los modelos elaborados para los hospitales elegidos en Madrid, el apartado siguiente muestra un análisis de las comparaciones entre estos resultados.

**Tabla 15:** Resultados de las aplicaciones de los modelos elaborados para Madrid

Modelos	Hospital 1	Hospital 2	Hospital 3	Hospital 4
$Vad = 2721,97 * \ln(ms) - 24553,84$	5759	3967	8384	8307
$Vad = 2756,97 * \ln(nc) - 10996,98$	6449	3498	8360	8110
$Vad = 2197,74 * \ln(ne) - 10932,91$	5924	3847	8525	8121

Vad=Viajes atraídos diarios; ms = m<sup>2</sup> de superficie; nc = número de camas; ne = número de empleados

## 6. ANÁLISIS Y COMPARACIONES

En este apartado se han hecho las comparaciones basadas en los tres grupos de análisis presentados en la metodología, que son las comparaciones entre los resultados de los modelos ITE (2008), los resultados de las aplicaciones de los modelos elaborados y los viajes diarios totales para cada división territorial de Madrid (Corona Metropolitana, Almendra Central y Zonas de Transporte).

Los resultados del primer grupo se han comparado con los viajes diarios reales de vehículos de cada división territorial, presentados en la Tabla 16. Se puede observar que solamente los resultados de la Corona Metropolitana presentan algún error menor del 10%, pero no sería lógico considerar el porcentaje de la división modal de toda la Corona, una vez que se tienen

los porcentajes de la zona de transporte específica donde están situados los hospitales. Al considerar los errores con los datos de la zona de transporte, se ha verificado que ninguno de los modelos del ITE (2008) podría ser utilizado con seguridad, pues todos ellos presentan errores altos. En relación a los resultados de viajes de los modelos elaborados se puede ver que la mayoría de ellos han tenido errores menores del 10%, por lo tanto estos podrían ser más indicados que los modelos del ITE (2008).

**Tabla 16:** Resultados de los viajes diarios y cálculo de los errores de tres grupos de datos

Grupo 1						Grupo 2		Grupo 3			
Resultado de las aplicaciones de los modelos ITE (2008)						Resultado de las aplicaciones de los modelos elaborados		Datos los viajes diarios reales (totales y % de viajes de vehículos)			
Hospitales	Variables	Viajes	Errores CM (%)	Errores AC (%)	Errores ZT (%)	Viajes	Errores Totales (%)	Viajes totales	CM Viajes vehíc	AC Viajes vehíc	ZT Viajes vehíc
1	MS	4837	-2,59	131,32	244,76	5759	-15,05	6.779	4.966	2.091	1.403
	NC	2945	-40,70	40,84	109,91	6449	-4,87				
	NE	5071	2,11	142,52	261,44	5924	-12,61				
2	MS	3032,5	23,12	192,43	679,56	3967	18,00	3.362	2.463	1037	389
	NC	1579	-35,89	52,27	305,91	3498	4,05				
	NE	2189	-11,12	111,09	462,72	3847	14,43				
3	MS	10909,5	77,13%	320,73%	235,78%	8384	-0,27	8.407	6.159	2.593	3.249
	NC	5022	-18,46	93,68	54,57	8360	-0,56				
	NE	15756	155,82	507,64	384,95	8525	1,40				
4	MS	10637	76,43	319,11	1941,65	8307	0,95	8.229	6.029	2.538	521
	NC	4662	-22,67	83,69	794,82	8110	-1,45				
	NE	13171	118,46	418,95	2428,02	8121	-1,31				

CM = Corona Metropolitana; AC = Almendra Central; ZT = Zona de Transporte; MS = Metros de Superficie; NC = Número de Camas; NE = Número de Empleados

Las Tablas 17 y 18 muestran la suma, los promedios y los desvíos para los viajes de vehículos de las divisiones territoriales y de las aplicaciones de los modelos ITE (2008). Se puede observar que la mayoría de los promedios de viajes cada una de las divisiones (Tabla 17) son menores que los resultados de viajes de los modelos ITE (2008) de la Tabla 18.

**Tabla 17:** Cálculo de la desviación de los viajes reales (CM, AC e ZT)

Hosp.	Viajes Vehículos CM			Viajes Vehículos AC			Viajes Vehículos ZT		
	vv	vv-p	(vv-p) <sup>2</sup>	vv	vv-p	(vv-p) <sup>2</sup>	vv	vv-p	(vv-p) <sup>2</sup>
1	4.966	62	3844	2.091	26	676	1.403	12	144
2	2463	-2.441	5958481	1037	-1.028	1056784	389	-1.002	1004004
3	6.159	1.255	1575025	2.593	528	278784	3.249	1.858	3452164
4	6029	1.125	1265625	2538	473	223729	521	-870	756900
S.	19617	1	8802975	8.259	-1	1559973	5.562	-2	5213212
P.	4.904	0,25	2934325	2.065	0	519991	1.391	-1	1737737
	D=1713			D=721			D=1318		
	P±D=4904±1713			P±D =2065±721			P±D =1391±1318		

vv = Viajes vehículos; CM = Corona Metropolitana; AC = Almendra Central; ZT = Zona de Transporte S = Suma; P = Promedio de los viajes; D = Desviación

Se considera que los resultados del modelo del ITE no serían los más indicados para el caso Madrileño, porque cuando se consideran los resultados de viajes de la zona de transporte específica, de 1.391 viajes diarios de vehículos (Tabla 17), los resultados del ITE son mayores, como muestra la Tabla 18 de 9.047 viajes en el día.

**Tabla 18:** Cálculo de la desviación para los viajes diarios (Modelos - ITE)

Hosp.	Modelo ITE (2008) MS			Modelo ITE (2008) NC			Modelo ITE (2008) NE		
	vv	vv-p	(vv-p) <sup>2</sup>	vv	vv-p	(vv-p) <sup>2</sup>	vv	vv-p	(vv-p) <sup>2</sup>
1	4837	-2517	6335289	2945	-607	368449	5071	-3976	15808576
2	3032,5	-4321,5	18675362,25	1579	-1973	3892729	2189	-6858	47032164
3	10909,5	3555,5	12641580,25	5022	1470	2160900	15756	6709	45010681
4	10637	3283	10778089	4662	1110	1232100	13171	4124	17007376
S.	29416	0	48430320,5	14208	0	7654178	36187	-1	1,25E+08
P.	7.354	0	16143440,17	3.552	0	2551392,667	9.047	-0,25	41619599
	D=4018			D=1597			D=6451		
	P±D =6.414±4.018			P±D =3.552±1.597			P±D =9.047±6.451		

vv = Viajes vehículos; CM = Corona Metropolitana; AC = Almendra Central; ZT = Zona de Transporte;  
S= Suma; P= promedio de los viajes; S = Desviación

Al verificar los valores promedios de la Tabla 19 se puede observar que los padrones de los hospitales utilizados en los modelos de Madrid poseen una capacidad superior a los hospitales utilizados en los modelos del ITE. Pero, aunque los hospitales madrileños son superiores a los hospitales norte-americanos, ellos generaron un número menor de viajes de vehículos, como muestra la Tabla 17.

**Tabla 19:** Datos físicos y funcionales de los hospitales utilizados en los modelos del ITE

Modelos/Variables	Número de empleados	m <sup>2</sup> de superficie	Número de camas
Promedios - ITE (2008)	729	38.714	398
Promedios -Madrid	114.786	3.950	724

## 7. CONCLUSIONES

Las pautas de la movilidad generada en los países en vías de desarrollo, como por ejemplo Brasil, son distintas de los flujos de movilidad en los Estados Unidos y en los países europeos. Los índices de motorización americanos son mayores en comparación con los índices brasileños. España, aunque sea un país desarrollado tiene unos patrones de movilidad diferentes, que se acercan más al modelo americano, aunque con un buen porcentaje de los viajes realizados en transporte público, especialmente, el metro como alternativa de transporte.

La equivalencia a la hora de elegir el código del ITE, que más se acerca a la realidad de los hospitales madrileños sólo es de carácter funcional más que por el tamaño o la localización, lo que añade otra dificultad para encontrar la correspondencia entre el caso americano y el español. La localización de los hospitales madrileños se encuentra dentro de la almendra central de la ciudad, con lo que cuentan con una amplia oferta de transporte público, aunque para el uso hospitalario muchas veces la propia causa de la visita impide que el viaje se realice en esos modos de transporte y sea necesario la intervención de otra persona que acompañe al paciente.

Así pues, en el caso de Madrid, los modelos presentados pueden ser más asumibles que los resultados de las aplicaciones de los modelos del ITE (2008), ya que se puede observar que los promedios de los modelos elaborados han quedado mucho más próximos al valor medio de los viajes reales. Pero hay que considerar las posibles restricciones de esos modelos, especialmente, por la baja cantidad de puntos (número de hospitales).

En los modelos desarrollados fueron utilizados regresiones exponenciales y logarítmicas mientras el ITE utiliza regresiones lineales. Pero las regresiones elaboradas en este estudio han presentado tests estadísticos significativos y buenos valores de  $R^2$ , por eso dichos modelos pueden explicar mejor el fenómeno de los viajes atraídos a los hospitales madrileños. De las tres variables utilizadas en los modelos de ITE y de Madrid, la que presentó más trascendencia es la variable  $m^2$  de superficie, con  $R^2$  de 0,88 en los modelos del ITE y 0,99 en los modelos de Madrid. Finalmente, este trabajo está en la línea del estudio realizado por Leániz *et al.* (2007) donde se destaca que los ratios de viajes en vehículo privado de los modelos del ITE son mayores que en el caso de Madrid, pues el reparto modal incluye también otros modos de transportes.

#### Agradecimientos

Los autores agradecen el soporte financiero de la Rede-PGV en las encuestas y de la Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES por la estancia de doctorado en España.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Carqueja, H. L. (2006) *Estudo da geração de viagens e de parâmetros para o Dimensionamento de estacionamento e meio-fio para Hospitais na grande Florianópolis*. 234 f. TCC (Trabalho de Conclusão de Curso), UFES – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC. 223 p.
- CET-SP (1983) *Pólos Geradores de Tráfego*. Boletim Técnico n° 32. Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo. Prefeitura de São Paulo, São Paulo.
- CSM (2011) Consejería de Sanidad de Madrid. Portal de salud. <www.madrid.org/cs> Sitio visto en 2011
- EDM (2004) *Encuesta domiciliar de movilidad de 2004*. Consorcio de Transportes de Madrid en la Comunidad de Madrid. Aspectos socioeconómicos y de movilidad. Resumen ejecutivo.
- Gontijo, G. A. S.; A. A. Raia, Jr. (2009) Proposta de Modelos de Geração de Viagens para Hospitais Públicos Localizados em Cidades Médias Brasileiras. *Anais do XXIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, ANPET, Vitória-ES, CD-ROM.
- Gontijo, G. A. S.; A. A. Raia, Jr. (2010) Caracterização das viagens atraídas pelo PGV/Hospital Santa Casa de Misericórdia de São Carlos/Brasil. *Anais do XVI Congresso Luso Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável*, PLURIS, Faro, Portugal, CD-ROM.
- ITE (2008) *Trip generation: An Informational Report of the Institute of Transportation Engineers*. User's Guide, Institute of Transportation Engineers, vol. 1 a 3, 8th Edition, Washington, D.C, USA.
- Leániz, C, L, de; M. A Delgado Iglesias; D. de la Hoz Sánchez (2007) *Metodología de análisis de la relación existente entre usos urbanísticos y producción de viajes en el municipio de Madrid*. Ayuntamiento de Madrid, Madrid.
- Macêdo, M. H.; I. M. Filizola, E. Amaral e Souza (2002) Polos Geradores de Tráfego: Estudo de um Agrupamento de Clínicas Médicas. *Anais do XVIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, ANPET, Natal, v. 2, p. 273-286.
- Martínez, F. V.; C. M. Á. Hueso; R. T. Sánchez (2010) Cálculo del tráfico atraído por un centro sanitario. *Revista Carretera*, Asociación Española de La Carretera (AEC), p. 60-73.
- Montgomery, D. C., G. C. Runger (2009) *Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros*. Tradução e revisão técnica Verônica Calado. Rio de Janeiro: Editoria LTC, 493 p.
- PGOU (1997) Plan General de Ordenación Urbana de Madrid. Ayuntamiento de Madrid, Madrid.
- Portugal, L. S. e Goldner L. G. *Estudo de Polos Geradores de Tráfego e de seus impactos nos sistemas viários e de transportes*. Ed. Edgard Blucher. Rio de Janeiro-RJ, 2003. 322 p.
- Raia Jr, A. A, D. G. Robles, G. A. da Silva e M. F. Rios (2008) Levantamento dos impactos promovidos pela implantação do PGV Hospital-Escola de São Carlos. *Anais do 2º Congresso Luso Brasileiro para o Planejamento, Urbano, Regional, Integrado, Sustentável*, PLURIS, Santos. CD-ROM.
- Raia Jr., A. A.; J. Galarraga; M. L. Albrieu; J. C. Sanánez; G. A. S. Gontijo e A. R. Meza (2012) Hospitais e Estabelecimentos de Saúde. In: Portugal, L. S. (Org.) *Polos Geradores de Viagens Orientados à Qualidade de Vida e Ambiental: Modelos e Taxas de Geração de Viagens*. Rio de Janeiro: Interciência. No prelo.
- REDE-PGV (2011) *Cadernos Hospitais*. Rede Íbero-Americana de Estudos de polos geradores de viagens. 53p.
- SIN (2010) Sistema de Información Nomenclaturas de Madrid. Consejería de Economía y Hacienda. Comunidad de Madrid. Disponible en: <http://www.madrid.org/nomenclaturas/>. Buscado en 20 de septiembre de 2010.