

**¿Qué factores influyen en la construcción de ciudades inteligentes?
Un modelo multinivel con datos a nivel ciudades y países ***

**Quais fatores influenciam a construção de cidades inteligentes?
Um modelo multinível com dados em termos de cidades e países**

***What Factors Influence the Building of Smart Cities?
A Multilevel Model with Data at Urban and National Levels***

María Verónica Alderete **

En años recientes se ha dado importancia al concepto de “ciudades inteligentes” o *smart cities*. Se pueden distinguir dos visiones: la que se centra en el rol de las tecnologías de la información y de la comunicación (TIC); y la que se amplifica a nociones vinculadas con el crecimiento económico sostenible, la calidad de vida, la gobernanza participativa y la reducción de emisiones. Este trabajo tiene como objetivo contrastar estas visiones para analizar los factores que inciden en la construcción de ciudades inteligentes. Sobre la base de una muestra de 181 ciudades en 81 países, se estima un modelo de regresión multinivel, con datos a nivel ciudad y a nivel país. Los resultados obtenidos muestran que el modelo tiene un mejor ajuste en la primera visión: el nivel económico, el nivel educativo, la ubicación en América Latina y el hecho de ser ciudades de países desarrollados en TIC son factores que afectan positivamente el nivel de inteligencia de una ciudad. Por otro lado, el modelo expresado en un sentido amplio muestra que, cuanto menor es la tasa de desempleo urbana, mayor es el nivel de inteligencia de las ciudades.

71

Palabras clave: ciudades inteligentes; TIC; modelos de regresión multinivel

* Recepción del artículo: 03/11/2017. Entrega de la evaluación final: 01/06/2018.

** Investigadora asistente del Consejo Nacional de Ciencia y Técnica (CONICET) y profesora adjunta del Departamento de Economía de la Universidad Nacional del Sur, Argentina. Correo electrónico: mvalderete@iies-conicet.gob.ar.

Nos últimos anos, o conceito de “cidades inteligentes” ou *smart cities* ganhou importância. É possível distinguir duas visões: a focada no papel das tecnologias da informação e da comunicação (TIC); e a que se estende a noções vinculadas ao crescimento econômico sustentável, a qualidade de vida, a governança participativa e a redução de emissões. Este trabalho tem como objetivo contrastar essas visões para analisar os fatores que incidem na construção de cidades inteligentes. Com base em uma amostra de 181 cidades em 81 países, estima-se um modelo de regressão multinível, com dados em termos de cidade e em termos de país. Os resultados obtidos mostram que o modelo tem um melhor ajuste na primeira visão: o nível econômico, o nível educativo, a localização na América Latina e o fato de serem cidades de países desenvolvidos em TIC são fatores que influenciam positivamente o nível de inteligência de uma cidade. Por outro lado, o modelo expresso em um sentido amplo mostra que quanto menor a taxa de desemprego urbana, maior o nível de inteligência das cidades.

Palavras-chave: cidades inteligentes; TIC; modelos de regressão multinível

In recent years, importance has been placed on the concept of “smart cities”. Two visions can be identified: one that centers on the role of Information and Communication Technologies (ICTs), and one that amplifies the ideas linked to sustainable economic growth, quality of life, participative governance and reduction of emissions. This paper compares these visions to analyze the factors that affect the building of smart cities. On the basis of a sample of 181 cities in 81 countries, a multilevel regression model is estimated, with data at urban and national levels. The results obtained show that the model aligns better to the first vision: the financial and educational levels, the location within Latin America and the fact that they are cities in countries that are developed in terms of ICTs are factors that positively affect the cities' smartness. On the other hand, the second model shows that the lower the urban unemployment rate is, the higher the cities' smartness.

Keywords: smart cities; ICTs; multilevel regression models

Introducción

La definición de ciudades inteligentes adquiere sentido a partir del crecimiento de la población en las últimas décadas y el advenimiento de nuevos problemas a nivel mundial con incidencia local, tales como el tránsito y los problemas ambientales, pero en especial a partir de la revolución digital. El concepto de “ciudad inteligente” surgió por primera vez en el libro *The Technopolis Phenomenon: Smart cities, fast systems, global networks* (Gibson *et al.*, 1992).

De acuerdo a datos publicados por la Organización de las Naciones Unidas (ONU), la población urbana mundial se incrementará de unos 3920 millones en 2015 a 6250 en 2050, lo que implica un crecimiento de casi el 60 %. Es de esperar que se busque aminorar o al menos explorar soluciones para enfrentar los problemas de la ciudadanía contemporánea. En este sentido, la implementación de las nuevas tecnologías de la información y de la comunicación (TIC) permite evolucionar hacia ciudades inteligentes que pueden generar las mejores soluciones en términos de participación y colaboración ciudadana, digitalización de los procesos de la administración pública, energía sostenible y uso sustentable de los espacios.

En Estados Unidos, las TIC han sido uno de los factores más importantes en garantizar el éxito de San Diego como una ciudad inteligente. De la misma manera, en el Reino Unido la ciudad de Southampton se caracteriza por ser la primera ciudad inteligente gracias al desarrollo de las múltiples aplicaciones de tarjetas inteligentes (Holland, 2008). En Brasil, la ciudad de Rio de Janeiro, inició su proyecto de transformación para convertirse en una ciudad inteligente a fines de 2010 mediante la inauguración del Centro de Operaciones de Rio (COR), además de ser el principal centro de telecomunicaciones y medio del país (Weiss *et al.*, 2013). La municipalidad de Rio lanzó dos programas —“Rio ideas” y “Rio aps”— para captar las ideas innovadoras propuestas por la población. La misma situación se observa en Cali, Lima y Guadalajara, por mencionar algunos casos.

En los últimos años, ha surgido una amplia investigación en torno a la importancia de generar ciudades inteligentes. A pesar de que el concepto es nuevo y que existen múltiples definiciones, se pueden distinguir dos visiones distintas en las definiciones de ciudades inteligentes. Por un lado, la literatura que enfatiza el rol de las TIC como medio para profundizar el acceso a la información pública y a los servicios en una ciudad. Es decir, el uso de tecnologías inteligentes computarizadas para hacer más eficientes e interconectados los elementos y servicios críticos o más importantes de una ciudad como la administración pública, la educación, el transporte y la calidad de vida de los ciudadanos en general (Washburn *et al.*, 2010; Caragliu, Del Blo y Nijkamp, 2009; Partridge, 2004). Por otro lado, aquellas que adoptan una perspectiva más amplia al introducir nociones vinculadas con el crecimiento económico sostenible, la calidad de vida, la gobernanza participativa y la reducción de emisiones.

En este trabajo se contrastarán empíricamente ambas definiciones a partir de la noción de Weisi y Ping (2014) y Nam y Pardo (2011), para quienes el de “ciudades inteligentes” es un concepto relativamente nuevo que depende altamente del

contexto, sea el país o el gobierno. No es únicamente un fenómeno municipal, sino también nacional e internacional (Nam y Pardo, 2011).

Este trabajo tiene como objetivo analizar las variables que inciden en la generación de ciudades inteligentes, teniendo en cuenta ambas nociones, haciendo énfasis en las características en materia tecnológica del país como determinante importante y en la problemática del desempleo urbano. De esta manera, se pueden delinear estrategias para su surgimiento y desarrollo.

El trabajo se estructura de la siguiente manera. En primer lugar, se examina el marco teórico en torno al concepto y se revisa la literatura empírica referida al tema. En segundo lugar, se describen los datos que se utilizarán para estimar un modelo de regresión multinivel, con datos a nivel ciudad y país. Luego se exhiben los resultados obtenidos y, finalmente, se esbozan las consideraciones finales del trabajo.

1. Marco teórico

Existen múltiples definiciones de ciudades inteligentes. Algunas se centran en el rol de las TIC y otras adoptan una perspectiva más amplia que implica considerar nociones vinculadas con el crecimiento económico sostenible, la calidad de vida, la gobernanza participativa y la reducción de emisiones. En el primer grupo, entre los autores que se basan en una definición más tecnológica, se encuentra una serie de autores (Belissent y Girón, 2013; Washburn *et al.*, 2010; Paskaleva, 2009; Nam y Pardo, 2011).

Según Belissent y Girón (2013), el concepto responde al rol de la tecnología para enlazar a los habitantes con las instituciones. Por su parte, Washburn *et al.* (2010) indican que el uso de las TIC genera infraestructura y servicios de seguridad pública, vivienda y transporte. Asimismo, Nam y Pardo (2011) sostienen que la ciudad inteligente fomenta la interoperabilidad entre los distintos dominios de una ciudad. La ciudad inteligente adquiere relevancia si promueve ambientes digitales colaborativos para lograr la competitividad local y la prosperidad a través de redes, servicios electrónicos integrados y participación electrónica (Paskaleva, 2009). Sin embargo, el foco en las TIC en las ciudades inteligentes puede impactar dramáticamente en la brecha digital en un sentido negativo, creando mayores desigualdades y divisiones sociales en la ciudad (Graham, 2002).

Por el contrario, hay conceptos más amplios que, aunque sostienen el rol importante de las TIC, ponen el énfasis en otros elementos (Albino *et al.*, 2015; Anthopoulos y Fitsilis, 2010; Winters, 2010; Topetta, 2010; Caragliu *et al.*, 2009; Shapiro, 2006). En esta línea, Albino *et al.* (2015) argumentan que la ciudad inteligente está vinculada con la noción de sostenibilidad centrada en las necesidades de las personas y las comunidades, pero no es equivalente a la difusión de las TIC. Caragliu *et al.* (2009) dicen que una ciudad es inteligente cuando las inversiones en capital social y humano, transporte y TIC permiten alcanzar un crecimiento económico sostenible y una mejor calidad de vida, acompañada por una gestión inteligente de los recursos naturales, y mediante una gobernanza participativa.

Por otro lado, Anthopoulos y Fitsilis (2010) definen una ciudad inteligente como aquella donde las TIC fortalecen la libertad de expresión y mejoran el acceso a la información pública y a los servicios. Según Winters (2010) y Shapiro (2006), las ciudades inteligentes son áreas metropolitanas con una proporción alta de la población adulta con un título secundario. Se define ciudad inteligente como una ciudad que combina las TIC con las tecnologías web 2.0 con otros esfuerzos organizacionales, de diseño y planeamiento para eficientizar los procesos burocráticos y brindar soluciones innovativas que mejoren la sustentabilidad y calidad de vida (Topetta, 2010).

Por su parte, Lupiañez y Faulí (2017) rescatan la definición adoptada por el Parlamento Europeo (2014), que combina ambas perspectivas al referirse a la ciudad que busca abordar los asuntos públicos a través de soluciones basadas en las TIC. Es claro que el concepto no sólo implica la dimensión tecnológica o es un concepto netamente tecnológico, sino que implica también el desarrollo socioeconómico. Asimismo, Letaifa (2015) realiza un estudio cualitativo que integra la literatura en el tema y, a partir de casos de estudio, define una metodología para la implementación de ciudades inteligentes.

La tecnología claramente es una condición necesaria para la existencia de una ciudad inteligente, aunque no basta con ella. De esta manera, se investigan qué características inherentes a las ciudades permiten promover el desarrollo de una Ciudad Inteligente, tales como el desempleo urbano, el nivel educativo, el tamaño de la población y del territorio, las TIC.

75

Las ciudades que quieren promover la riqueza deben ser innovativas y crear las condiciones para que se desarrolle el conocimiento y la creatividad (Letaifa, 2015; Musterd y Ostendorf, 2004). De esta manera, se genera una mayor cantidad y calidad de empleos y se combate el desempleo. En este sentido, las capacidades y habilidades para usar las computadoras han sido influenciadas por el estatus ocupacional y las oportunidades para desarrollar y acumular el capital cultural (Clayton y Macdonald, 2013).

De esta manera se construye la hipótesis 1: las ciudades más inteligentes presentan una menor tasa de desempleo. La tasa de desempleo afecta negativamente el nivel de inteligencia de una ciudad. Según ciertos autores, el surgimiento y crecimiento de las ciudades inteligentes tiene origen en que los trabajadores migran hacia las ciudades con mayores niveles de capital humano debido a que tales ciudades son más productivas (Florida y Mellander, 2012; Glaeser y Saiz, 2004; Moretti, 2004; Rauch, 1993). En tales ciudades, con alto porcentaje de la población educada, los salarios son más altos que en las ciudades menos educadas, aun controlando por las características individuales de los trabajadores. Florida y Mellander (2012) destacan en la definición de ciudad inteligente la importancia del capital humano para reducir la brecha entre educación y productividad.

Las ciudades inteligentes suelen tener un porcentaje más alto de la población educada. Cuanto más alto es este porcentaje, la calidad de vida de la ciudad aumenta

y la gente vive en esas ciudades debido a la mayor calidad de vida (Shapiro, 2006). Esta relación vincula el capital humano con las iniciativas tendientes a fortalecer las capacidades de la población, tales como los cursos de educación y capacitación online. En este sentido, las ciudades con mayor capital humano tienden a ser ciudades inteligentes, donde existe mayor demanda y asistencia de la modalidad online (Letaifa, 2015; Steinert *et al.*, 2011). La idea de *smart people*, que está incluida en el concepto amplio de *smart cities*, adopta elementos como el grado de alfabetización digital de la sociedad o el porcentaje de la población con grado universitario (Lupiañez y Faulí, 2017). Por lo tanto, existe un vínculo estrecho entre ciudad inteligente y nivel educativo de la población.

De esta manera, se arriba a la hipótesis 2: las ciudades más inteligentes presentan un mayor nivel educativo de la población. El nivel educativo afecta positivamente el nivel de inteligencia de una ciudad.

Con respecto al tamaño de las ciudades, Winters (2010) afirma que las ciudades inteligentes son generalmente de tamaño pequeño a medio. Al mismo tiempo, debido a que suelen tener un alto capital humano, mucha población joven migra hacia estas ciudades aumentando el tamaño de la población.

Varios índices o rankings existentes de ciudad inteligente seleccionan a las ciudades sobre la base del tamaño de su población: *Canada's most sustainable Cities*, *Dritter Großstadtvergleich* (Alemania), *Les villes Européennes: Analyse comparative* (Francia). Las ciudades de tamaño medio constituyen una de las clases de ciudades más importantes en Europa en términos demográficos. Debido a que poseen atributos característicos a su tamaño, los desafíos que enfrentan estas ciudades difieren del resto de las ciudades como las ciudades metropolitanas (están menos equipadas en términos de masa crítica, recursos e incluso capacidad institucional y organizativa). Existen diferencias según el tamaño de las ciudades; por ejemplo, las ciudades de tamaño medio no pueden competir en todos los campos de la actividad económica como locación ideal para todas las ramas industriales, sino que deben centrarse en algunas actividades (Giffinger *et al.*, 2010). De todos modos, estas ciudades pueden llegar a ofrecer activos no disponibles en ciudades más grandes.

Una ciudad tiene que ser de tamaño grande, ya que gran parte de los casos de ciudad inteligente o ilustraciones como transporte inteligente remite a poblaciones grandes (Debnath *et al.*, 2014). Las ciudades grandes pueden atraer más capital humano (Elvery, 2010), así como disponer de una mayor infraestructura en términos de electricidad, agua y telecomunicaciones. Las ciudades grandes poseen una masa crítica de usuarios de TIC, y esto puede inducir a una penetración más rápida de nuevos servicios digitales, tales como aplicaciones móviles para transporte urbano. Sin embargo, las ciudades más pequeñas poseen ventajas también, ya que se convierten en espacios propicios para pruebas piloto. Al ser ciudades pequeñas, los tiempos de instalación de inversiones en infraestructuras como alumbrado de las calles o residuos son más reducidos al cubrir superficies más pequeñas (Neirotti *et al.*, 2014).

No existe según la literatura consenso sobre la relación entre el tamaño de la ciudad y el nivel de inteligencia. Según los argumentos estudiados, se plantea la hipótesis 3: las ciudades más inteligentes presentan un mayor tamaño de la población y son más grandes. El tamaño afecta positivamente el nivel de inteligencia de una ciudad.

Cualquier ciudad moderna requiere de una infraestructura de tecnologías de la información que sirva de soporte a los negocios y a la ciudadanía. Es decir, que disponga de redes de fibra óptica, infraestructura de telecomunicaciones móviles o acceso universal de banda ancha. Asimismo, el concepto de *smart cities* incluye la dimensión *smart people*, que involucra elementos como el número de computadoras por estudiantes (Lupiñez y Laurí, 2017).

Estas cuestiones sin duda están vinculadas a los planes o políticas de nivel nacional y tienen incidencia a nivel municipal. El cambio en las ciudades implica un uso efectivo de los datos inteligentes en tiempo real (Zygiaris, 2012). Paskaleva (2009) analiza cómo el gobierno abierto puede asistir en el surgimiento de la ciudad inteligente. La coordinación de políticas a lo largo de distintos niveles de gobernanza es de vital importancia para innovar en una ciudad (Marceau, 2008; Odendaal, 2003). Estas iniciativas de dato abierto están cambiando no sólo la relación entre el gobierno y el público, sino también las relaciones entre diferentes unidades de negocio siendo el gobierno responsable en brindar estos servicios (Kitchin *et al.*, 2015). Los datos abiertos brindan a la población indicadores accesibles y de fácil lectura a través de gráficos o mapas, con información sobre el desempeño de la ciudad y las tendencias, sin que los ciudadanos tengan que aprender cómo manejar los datos o usar software especializados, mejorando su estilo de vida.

77

Se plantea, entonces, la hipótesis 4: las ciudades más inteligentes presentan un mayor desarrollo en TIC. Una mayor difusión de las TIC afecta positivamente el nivel de inteligencia de una ciudad.

2. Metodología

Se utiliza una estructura de datos multinivel jerárquica; en un primer nivel o estructura de datos mayor, se encuentran los países; y en un segundo nivel o estructura de datos menor se ubican las ciudades dentro de cada país. De esta manera, se construye una muestra por etapas donde existe dependencia de las observaciones dentro de cada grupo (Hox, 1995). Este tipo de estructura de datos multinivel es útil para analizar el problema bajo estudio: identificar los factores que inciden en la construcción y promoción de ciudades inteligentes, con énfasis en el impacto de las nuevas tecnologías a nivel de los países, teniendo en cuenta su heterogeneidad. Existen algunos trabajos que han utilizado este tipo de estructura de datos para estudiar los factores determinantes de la educación, salud pública y actitud pro ambiental, entre otras. Sin embargo, no se han hallado trabajos que emplean esta metodología para el análisis de las ciudades inteligentes.

La metodología parece adecuada en la medida en que el nivel de progreso de la ciudad, en términos de *smartness* o inteligencia, depende tanto de factores inherentes a la ciudad como del entorno macroeconómico (país) en el que se encuentra. La muestra está compuesta por 181 ciudades a nivel mundial agrupadas en 81 países. Por lo tanto, el número medio de ciudades por país es de dos. En la **Tabla 1** se listan las variables incluidas en el modelo, su descripción, fuente y estadísticos descriptivos.

Tabla 1. Descripción de las variables del modelo

Variable	Descripción	Fuente	Min	Max	Media
Dependientes					
CIMI	Índice Cities in motion	IESE, Escuela de Negocios, Universidad de Navarra	32.86	100	63.66
Ranking tecnológico	Ranking en Dimensión Tecnología del CIMI	IESE, Escuela de Negocios, Universidad de Navarra	1	181	90.85
Independientes Nivel ciudad					
Tasa de desempleo	Tasa de desempleo de las ciudades	Registros oficiales varios de acceso público en Google	0.4	43	8.91
Población	Tamaño de la población, número de habitantes en la ciudad	Registros oficiales varios de acceso público en Google	141738	2.97e+09	2.08e+07
Superficie de la ciudad	Km2 del territorio varios de acceso público en Google	Registros oficiales	15.93	435036	4454.977
AL	Variable <i>dummy</i> que indica si la ciudad es de la región de América Latina				
Economía	Ranking en Dimensión Economía del CIMI	IESE, Escuela de Negocios, Universidad de Navarra	1	181	90.38674
Educación	Ranking en Dimensión Educación del CIMI	IESE, Escuela de Negocios, Universidad de Navarra	1	181	91
Independientes Nivel país					
IDI	Índice de Desarrollo en TIC (UIT)	Unión Internacional de Telecomunicaciones	2.05	8.86	6.40

Fuente: elaboración propia

Las ciudades seleccionadas fueron aquellas de las cuales se disponía de indicadores de ciudad inteligentes. Se estima el modelo con dos variable dependientes distintas: El primer modelo utiliza la definición de ciudad inteligente en un sentido amplio. Con este fin emplea el índice *Cities in Motion* (CIMI) que constituye un índice publicado por el IESE, escuela de negocios del Departamento de Estrategia de la Universidad de Navarra, en conjunto con el Centro para la Globalización y la Estrategia.

Por otro lado, en el segundo modelo se emplea un concepto más tecnológico o restringido de ciudad inteligente. Para ello se utiliza el ranking de Tecnología del CIMI, que es una de las dimensiones del índice que está vinculada con la tecnología en las ciudades. CIMI evalúa diferentes ciudades en relación a diez dimensiones: economía, capital humano, tecnología, medio ambiente y gobernanza, entre otras. El desarrollo tecnológico es una dimensión que permite a las ciudades ser sustentables a lo largo del tiempo y mantener o extender las ventajas competitivas de su sistema productivo y de la calidad del empleo. Este subcomponente incluye nueve indicadores entre los cuales figuran el número de suscripciones de banda ancha en el país, la cantidad de usuarios de banda ancha en la ciudad, el número de direcciones de IP per cápita, el número de usuarios de Facebook per cápita, el número de teléfonos móviles per cápita, entre otros. El IESE publica los datos del ranking de las ciudades de América Latina en este subcomponente.

Por otro lado, se emplea una serie de variables que inciden en la determinación de una ciudad inteligente. En el primer modelo, concepto amplio, se incluye el tamaño de la población, la superficie de la ciudad, la tasa de desempleo urbana y si la ciudad pertenece a la región de América Latina. En el segundo modelo, concepto tecnológico, el tamaño de la población, la superficie de la ciudad, nivel económico de la ciudad, nivel educativo de la ciudad, la tasa de desempleo urbana y si la ciudad pertenece a la región de América Latina.

Con estos datos se estima un modelo de regresión multinivel. Estos modelos tienen la ventaja de que las observaciones individuales se agrupan en unidades más grandes, de forma tal que se introduce información adicional procedente del anidamiento de datos (Diez Roux, 2002; OCDE, 2003). De esta forma, los coeficientes de regresión y su variación arrojan mejores estimaciones (De la Cruz, 2008).

Existen dos maneras de elaborar los modelos multinivel: de forma simple o compleja. En el caso simple, se supone que las discrepancias entre los grupos (países) se obtienen en la constante o intercepto. De esta manera, los efectos de cada variable independiente sobre la variable dependiente (“nivel de inteligencia” de las ciudades) son fijos entre países. Son modelos con efectos fijos; las ecuaciones de regresión de cada país son paralelas y sólo se diferencian en la ordenada al origen.

En el caso complejo, las diferencias entre países se observan tanto en el intercepto como en los coeficientes de ciertas variables independientes. Se trata de modelos con efectos aleatorios donde las rectas de regresión de los países se distinguen tanto en la ordenada como en la pendiente. Las variables independientes que explican el modelo poseen diferentes categorías o niveles. Este trabajo utiliza dos niveles: nivel

ciudad (1) y nivel país (2). Las variables de nivel país son iguales para todas las ciudades pertenecientes al mismo país. Las variables de nivel ciudad varían en función de las características propias de cada ciudad. En el caso de que los efectos aleatorios sean estadísticamente significativos, se concluye que los países difieren en su accionar ante las diferencias de origen de las ciudades. Se parte del supuesto de que existe un modelo sobre el nivel de inteligencia de las ciudades compuesto de dos niveles de datos y variables, siendo cinco las variables independientes: tres de nivel ciudad y dos de nivel país.

a. Nivel ciudad:

$$(1) Y_{ij} = \beta_{0j} + \beta_{1j}X_{ij} + \beta_{2j}Z_{ij} + r_{ij}$$

b. Nivel país:

$$\beta_{0j} = \gamma_{00} + \beta_{01}P_j + \mu_{0j}$$

$$\beta_{1j} = \gamma_{10}$$

$$\beta_{2j} = \gamma_{20} + \mu_{2j}$$

c. Modelo completo:

$$(2) Y_{ij} = \gamma_{00} + \gamma_{01}P_j + \gamma_{10}X_{ij} + \gamma_{20}Z_{ij} + \mu_{0j} + \mu_{2j}Z_{ij} + r_{ij}$$

80

Tal que:

- Y_{ij} es el nivel de inteligencia (esperado) de la ciudad “i” en el país “j”.
- β_{0j} es el intercepto de la línea de regresión para el país “j”.
- β_{1j} es el coeficiente correspondiente a la variable independiente X introducida al modelo con efectos fijos. Luego, β_{1j} al ser igual para todos los países, se representa mediante γ_{10} .
- β_{2j} es el coeficiente correspondiente a la variable independiente Z introducida al modelo con efectos aleatorios. Dado que varía entre países, ésta posee una parte fija (γ_{20}) y una parte aleatoria (μ_{2j}) que representa la distancia residual desde el coeficiente de regresión de los países hasta γ_{20} .
- β_{01} es el coeficiente correspondiente a la variable explicativa P (variable del nivel país). Como esta variable de nivel país difiere entre países, existe un valor de P diferente para cada país “j”. Esta variable influye en el valor del intercepto β_{0j} . En el caso de que existiera otra variable explicativa de nivel país, se agregaría el término $\gamma_{02}P_j$
- r_{ij} es la varianza residual dentro de cada país.
- μ_{0j} es la varianza residual entre países.

Como primer paso, es útil estimar el modelo sin incluir las variables independientes. El modelo nulo indica qué proporción de las diferencias en los niveles de inteligencia de las ciudades se explican por diferencias entre países y qué proporción se atribuye

a divergencias al interior de los países. El modelo formal se expresa de la siguiente manera:

$$(3) Y_{ij} = \gamma_{00} + \mu_{0j} + r_{ij}$$

Donde:

- γ_{00} indica los efectos fijos o determinísticos (intercepto global).
- μ_{0j} y r_{ij} indican los efectos aleatorios o estocásticos.

Los β_{0j} coinciden con las medias de los países o son próximas a éstas. Tal parámetro β_{0j} está formado por una parte fija, común a todos los países (γ_{00}) llamado intercepto global, y una parte aleatoria (μ_{0j}), que representa la desviación del país “j” respecto de γ_{00} , es decir, representa la varianza entre países.

Por otro lado, r_{ij} es el desvío del nivel de inteligencia de la ciudad “i” respecto del promedio del país “j” al que pertenece. Dado que a cada ciudad se le asigna la media de su país como resultado predicho, r_{ij} es igual a la varianza dentro de cada país.

Por lo tanto, en el modelo nulo las varianzas residuales intra-países e inter-países brindan información para calcular el coeficiente de correlación intraclass (ρ), el cual representa la proporción de la varianza residual explicada por diferencias entre países ($\rho = \mu_{0j} / (\mu_{0j} + r_{ij})$), es decir: la proporción de la varianza de los niveles de inteligencia de las ciudades entre países. Si este coeficiente fuera cero no tendría sentido plantear un modelo multinivel (OCDE, 2003).

81

La bondad de ajuste de los modelos se obtiene del indicador llamado “varianza explicada”, que surge de comparar el modelo propuesto con el modelo nulo. El trabajo utiliza el *software* STATA.¹⁴ para calcular los parámetros de las ecuaciones anteriores, los cuales se estiman de forma simultánea a través de métodos iterativos que maximizan una función de máxima verosimilitud.

3. Resultados

A continuación, se exhiben los resultados encontrados de las estimaciones de los dos modelos multinivel. En primer lugar, se presenta un modelo nulo con el fin de determinar la utilidad de emplear regresiones de tipo multinivel. Para ello se evalúan dos indicadores: 1) si los efectos aleatorios de la constante son significativos; y 2) el coeficiente de correlación intra-clase. Tal como se observa en la **Tabla 2**, los efectos aleatorios de la varianza de la constante son estadísticamente significativos en ambos modelos y la proporción de la brecha en los niveles de inteligencia de las ciudades, explicada por diferencias entre las ciudades, es positiva tanto en el modelo de concepto tecnológico como en el modelo con concepto amplio (1.05 y 2.90, respectivamente).

Tabla 2. Resultados del modelo nulo

Efectos aleatorios de los parámetros	Modelos	Estimación	Error estándar	Intervalo de confianza (95%)	
Varianza de la constante	Tecnológico	1411.723	366.228	849.0466	2347.294
	Amplio	155.701	30.29274	106.337	227.9811
Varianza residual	Tecnológico	1332.075	185.169	1014.39	1749.253
	Amplio	53.58977	7.509744	40.71924	70.52841
Coeficiente de correlación intra-clase	Tecnológico	1.05			
	Amplio	2.90			

Fuente: elaboración propia

En segundo lugar, se estima un modelo que sólo incluye variables independientes de nivel ciudad (Modelo 1). De todas las variables, el tamaño de la población de las ciudades no es una variable significativa para explicar el nivel de inteligencia de las ciudades. Por otro parte, en cuanto al desempleo urbano, variable considerada de interés, su incidencia es significativa cuando consideramos el concepto de ciudad inteligente en un sentido amplio. No resulta una variable significativa cuando el concepto de inteligencia se refiere a lo tecnológico.

82

Por lo tanto, según el Modelo 1, el nivel de inteligencia de las ciudades en un sentido tecnológico depende positivamente del nivel económico, del nivel educativo de la población y si la ciudad es de América Latina. Por otro lado, el nivel de inteligencia en un sentido amplio depende en forma negativa del nivel de desempleo de las ciudades y si la ciudad es de América Latina (**Tabla 3**).

Tabla 3. Resultados del Modelo 1: coeficientes

Variable	Modelos	
	Tecnológico	Amplio
Economía	.4025246***	
Población	-7.36e-09	2.73e-09
Educación	.4067304***	
Desempleo	-.3714842	-.4161103**
AI	22.98267**	-13.90236***
Superficie	2.24e-07	

Notas: **, *** significativas al 5 y 10% respectivamente

Fuente: elaboración propia en base a PISA 2012

En tercer lugar, se analiza si los países difieren en su accionar ante las diferencias inherentes a las ciudades en cuanto a su tasa de desempleo urbano. Con este fin, se estima un modelo similar al planteado anteriormente, al cual se le introducen efectos

aleatorios a la variable tasa de desempleo urbano de nivel 1. Los resultados hallados son similares a la tabla anterior y se observa en el modelo amplio que la tasa de desempleo urbana continúa siendo estadísticamente significativa y sus efectos aleatorios también lo son. Por lo tanto, existen políticas que los países pueden aplicar para disminuir la tasa de desempleo de las ciudades (en el modelo amplio).

Por último, se estima un modelo que introduce variables independientes de nivel países (Modelo 3), al mismo tiempo que mantiene las variables de nivel ciudad con efectos fijos.¹ En este caso, interesa especialmente el efecto de la variable IDI para examinar cómo afecta a la varianza del intercepto y su grado de significatividad. Tal como se observa en la **Tabla 6**, el signo de la varianza de IDI es positivo y ésta es estadísticamente significativa a un nivel de confianza del 95% (tanto en el modelo tecnológico como en el modelo amplio). Por lo tanto, se puede deducir que las ciudades que pertenecen a países con un mayor grado de desarrollo en TIC alcanzan, en promedio, un mayor grado de inteligencia. Por otro lado, la variable desempleo urbano sigue siendo significativa (al 1%), y su coeficiente de mayor valor que en los modelos anteriores (**Tabla 4**).

A su vez, llama la atención que la ubicación de las ciudades en la región de América Latina tenga un efecto positivo en el modelo tecnológico, pero negativo en el modelo amplio. Una posible explicación a este resultado es que las ciudades de la muestra pertenecientes a la región de América Latina han mejorado su posicionamiento relativo según el último dato del IESE en cuanto a la dimensión tecnológica. Sin embargo, al considerar la inteligencia de una ciudad en forma amplia, la región no se encuentra en una ventaja relativa por cuestiones que van más allá de lo tecnológico, como pueden ser los problemas de gobernanza o medioambientales.

83

Tabla 4. Resultados del Modelo 3: coeficientes

Variable	Modelos	
	Tecnológico	Amplio
Economía	4260941***	
Población	-8.16e-09	2.67e-09
Educación	.3963661***	
Desempleo	-.4598521	-.4365098***
AI	21.08072**	-13.4663***
Superficie	3.18e-08	

Fuente: elaboración propia en base a PISA 2012

1. No se incorporan en este caso efectos aleatorios de la variable TIC porque el modelo en el *software* no converge.

Tabla 5. Resultados del Modelo 3: efectos aleatorios

Efectos aleatorios de los parámetros	Modelos	Estimación	Error estándar	Intervalo de confianza (95%)	
Varianza (IDI)	Tecnológico	3.103334	10.87413	.00323	2981.607
	Amplio	5.30e-13	3.40e-12	3.40e-12	1.53e-07
Varianza de la constante	Tecnológico	287.425	496.163	9.753285	8470.288
	Amplio	106.1136	26.05659	65.5776	171.7065
Varianza residual	Tecnológico	793.2222	130.191	575.0264	1094.213
	Amplio	48.73536	8.083155	35.20996	67.45636

Fuente: elaboración propia

Por último, en la tabla se determinan los porcentajes de varianza explicados en cada uno de los modelos propuestos comparando el modelo final con el modelo nulo. Se observa que el modelo tecnológico alcanza una mejor bondad de ajuste ya que explica el 60,61% de la discrepancia en los niveles de inteligencia de las ciudades, mientras que el modelo en un sentido amplio explica sólo el 26%. Luego, el modelo tecnológico logra explicar un 79% de las diferencias generadas por desigualdades a nivel países y un 40% de las diferencias originadas por heterogeneidad entre las ciudades.

84

Tabla 6. Bondad de ajuste del modelo

Varianza	Modelos	Modelo nulo	Modelo final	
			Estimación	Porcentaje de varianza sobre el modelo nulo
Varianza de la constante	Tecnológico	1.411,723	287,425	79,6401277
	Amplio	155,7010	106,114	31,84783656
Varianza residual	Tecnológico	1.332,075	793,2222	40,4521367
	Amplio	53,5898	48,7354	9,058463957
Varianza total (constante + residual)	Tecnológico	2743,798	1080,64	60,61517648
	Amplio	209,29	154,848	26,01270964

Fuente: elaboración propia

Conclusiones

El concepto de ciudad inteligente surge para resolver los problemas de la urbanización contemporánea, y las estrategias deben integrar no sólo consideraciones tecnológicas sino también sociales, políticas y organizacionales. Sin embargo, a nivel de los municipios resulta difícil acceder a datos en relación a estas cuestiones lo que dificulta su comprensión y análisis.

Este trabajo parte del análisis de la literatura sobre las ciudades inteligentes, distinguiendo entre la definición del concepto en un sentido estricto o tecnológico, donde el papel principal proviene de las TIC inmersas en las ciudades, y el concepto en un sentido amplio, que reconoce en lo tecnológico una condición necesaria pero no suficiente para definir el nivel de inteligencia. En este aspecto, es menester incluir cuestiones demográficas, sociales y ambientales, entre otras.

Sobre la base de estos conceptos, se estima un modelo de regresión multinivel que utiliza como variables dependientes el índice *Cities in Motion* (CIMI) y el ranking tecnológico del CIMI para los modelos en sentido amplio y tecnológico, respectivamente. Por otro lado, se incluyen variables explicativas distintas, entre ellas el tamaño de la población, la superficie de las ciudades, el nivel educativo, el nivel económico, la tasa de desempleo urbano y la ubicación de las ciudades (si son de América Latina), estas dos últimas variables en común de ambos modelos.

De acuerdo con los resultados obtenidos tras la estimación del modelo multinivel, el modelo de ciudad inteligente en un sentido tecnológico posee un mayor poder explicativo que el modelo en un sentido amplio. Este resultado se explica en parte por cómo está definida la variable dependiente en el modelo en sentido amplio. Al ser el CIMI un índice multidimensional, es poco factible hallar variables explicativas de ciudad inteligente que ya no estén consideradas en el índice. Por lo tanto, a pesar de que el concepto de ciudad inteligente en un sentido amplio es más adecuado desde el punto de vista conceptual y empírico, resulta menos apropiado para hallar las variables que influyan en el nivel de inteligencia de las ciudades.

Según el modelo tecnológico, el nivel económico, el nivel educativo y la pertenencia a América Latina afectan positivamente el nivel de inteligencia de una ciudad. Asimismo, las ciudades ubicadas en países con un mayor desarrollo en TIC tienen en promedio un mayor nivel de inteligencia. Es decir, países desarrollados digitalmente generan ciudades inteligentes. Por otro lado, el modelo expresado en un sentido amplio permite hallar una relación significativa entre tasa de desempleo urbana y nivel de inteligencia de las ciudades. Cuanto menor es la tasa de desempleo urbana, mayor es el nivel de inteligencia de las ciudades. Este resultado refuerza la idea de que las cuestiones sociales y económicas inciden en una mejor calidad de vida en las ciudades.

Entre las limitaciones del trabajo se encuentra la falta de datos específicos respecto a las subdimensiones del índice CIMI. Por lo tanto, en el modelo tecnológico se emplean variables expresadas en valores relativos pero no absolutos. En un modelo de corte transversal no hay demasiadas implicancias, pero sería interesante emplear

otros indicadores. A su vez, el índice está calculado para algunas ciudades de algunos países; por lo tanto, hay países que poseen más ciudades en la muestra que otros.

Desde las implicancias teóricas del modelo, uno de los principales aportes del trabajo consiste en analizar un tema de investigación de reciente interés entre los académicos y políticos empleando una metodología cuantitativa. El método de modelos de regresión multinivel es ampliamente utilizado en otras disciplinas, por ejemplo para estudiar las variables que explican el rendimiento educativo de los alumnos, con variables a nivel alumnos y escuelas. Sin embargo, no hay evidencias de estudios de este tipo en la materia.

Desde las implicancias prácticas del modelo, el nivel educativo de la población, así como las condiciones económicas en que vive la ciudadanía, son cuestiones que deben estar presentes para permitir el desarrollo de ciudades inteligentes en el sentido tecnológico. Es decir, no basta con un mayor acceso a las TIC en la ciudad si no están dadas las condiciones necesarias para su aprovechamiento. Cuanto más educada esté la población y mejor sea su nivel económico (por ejemplo, en términos de ingreso o de PBI per cápita), es probable que se exploten mejor las oportunidades que brinda la tecnología, lo que se reflejaría en mayor alfabetización digital, mejor infraestructura, mejor equipamiento y conectividad, entre otras cuestiones.

Bibliografía

ALBINO, V., UMBERTO, B. y DANGELICO, R. M. (2015): "Smart cities: definitions, dimensions, and performance", *Journal of Urban Technology*, vol. 22, n° 1, pp. 3–21.

ANTHOPOULOS, L. y FITSILIS, P. (2010): "From Digital to Ubiquitous Cities: Defining a Common Architecture for Urban Development", *Proceedings of the 6th International Conference on Intelligent Environments IE10*, Malasia, IEEE, pp. 301-306.

BELISSENT, J. y GIRON, F. (2013): *Service Providers Accelerate Smart City Projects*, Forrester Research Report, Cambridge, Forrester Publication.

CARAGLIU, A., DEL BO, C. y NIJKAMP, P. (2009): *Smart Cities in Europe*, 3rd Central European Conference in Regional Science, Košice, 7-9 de octubre.

CLAYTON, J. y MACDINALD, S. J. (2013): "The limits of technology", *Information, Communication & Technology*, vol. 16, n° 6, pp. 945-966.

DEBNATH, A. K., CHIN, H., HAQUE, M. y YUEN, B. (2014): "A methodological framework for benchmarking smart transport cities", *Cities*, vol. 37, pp. 47-56.

DE LA CRUZ, F. (2008): “Modelos Multinivel”, *Revista Peruana de Epidemiología*, vol. 12, n° 3, pp. 1-8.

DIEZ ROUX, A. (2002): “A glossary for multilevel analysis”, *Journal of Epidemiology and Community Health*, n° 56, pp. 588-594.

FLORIDA, R. y MELLANDER, C. (2012): “The Rise of Skills: Human Capital, the Creative Class and Regional Development”, *CESIS Electronic Working Paper Series*, n° 266.

GIBSON, D. V., KOZMETSKY, G. y SMILOR, R. W. (1992): *The technopolis phenomenon: Smart cities, fast systems, global networks*, Lanham, Rowman & Littlefield Publishers.

GIFFINGER, R., HAINDLMAIER, G. y KRAMAR, H. (2010): “The role of rankings in growing city competition”, *Urban research & practice*, vol 3, n°3, pp. 299-312.

GLAESER, E. L. y SAIZ, A. (2004): “The Rise of the Skilled City,” *Brookings-Wharton Papers on Urban Affairs*, pp. 47–94.

HOLLAND, R. (2008): “Will the real smart city please stand up?”, *City: analysis of urban trends, culture, theory, policy, action*, vol 12, n°3, pp. 303-320.

KITCHIN, R., LAURIAULT, T.P. y MCARDLE, G. (2015): “Knowing and governing cities through urban indicators, city benchmarking and real-time dashboards”, *Regional Studies, Regional Science*, vol. 2, n° 1, pp. 6-28.

87

LETAIFA, S. B. (2015): “How to strategize smart cities: revealing the SMART model”, *Journal of business research*, vol. 68, n° 7, pp. 1414-1419.

LUPIAÑEZ, F. y FAULÍ, C. (2017): “Ciudades Inteligentes: Evaluación social de proyectos de Smart Cities”, Centro de Estudios de telecomunicaciones de América Latina.

MARCEAU, J. (2008): “Introduction: Innovation in the city and innovative cities”, *Innovation: Management, Policy & Practice*, vol. 10, n° 2-3, pp. 136-145.

MORETTI, E. (2004): “Estimating the Social Return to Higher Education: Evidence from Longitudinal and Repeated Cross-Sectional Data,” *Journal of Econometrics*, vol. 121, pp. 175–212.

MUSTERD, S. y OSTENDORF, W. (2004): “Creative cultural knowledge cities: Perspectives and planning strategies”, *Built Environment*, vol. 30, n° 3, pp. 188–193.

NAM, T. y PARDO, T. A. (2011): “Smart city as urban innovation: focusing on management, policy and context”, ICEGOV2011, 26-28 de septiembre, Tallinn.

NEIROTTI, P., DE MARCO, A., CAGLIANO, A., MANGANO, G. y SCORRANO, F. (2014): “Current trends in smart city initiatives: some stylized facts”, *Cities*, vol. 38, pp. 25-36.

OCDE (2003): *PISA 2003. Manual de análisis de datos*, Madrid, OCDE.

ODENDAAL, N. (2003): "Information and communication technology and local governance: Understanding the difference between cities in developed and emerging economies", *Computers, Environment and Urban Systems*, vol. 27, n° 6, pp. 585-607.

PARTRIDGE, H. L. (2004): "Developing a human perspective to the digital divide in the 'smart city'", en H. Partridge (ed.): *Australian Library and Information Association Biennial Conference*, 21-24 de septiembre, Gold Coast.

PASKALEVA, K. A. (2009): "Enabling the smart city: the progress of city e-governance in Europe", *Int. J. Innovation and Regional Development*, vol. 1, n° 4, pp. 405-422.

RAUCH, J. E. (1993): "Productivity Gains from Geographic Concentration of Human Capital: Evidence from the Cities", *Journal of Urban Economics*, vol. 34, pp. 380-400.

SHAPIRO, J. M. (2006): "Smart Cities: Quality of Life, Productivity, and the Growth Effects of Human Capital," *Review of Economics and Statistics*, vol. 88, pp. 324-335.

STEINERT, K., MARON, R., RICHARD, P., VEIGA, G., y WITTERNS, L. (2011): "Making cities smart and sustainable. Global innovation index report", pp. 87-95. Disponible en: https://www.globalinnovationindex.org/userfiles/file/GII-2011_Report.pdf.

88

TOPPETA, D. (2010): "The Smart City Vision: How Innovation and ICT Can Build Smart, 'Livable', Sustainable Cities", *The Innovation Knowledge Foundation*.

WASHBURN, D., SINDHU, U., BALAOURAS, S., DINES, R. A., HAYES, N. M. y NELSON, L. E. (2010): "Helping CIOs understand 'smart city' initiatives: Defining the smart city, its drivers, and the role of the CIO", Cambridge, Forrester Research, Inc. Disponible en: http://public.dhe.ibm.com/partnerworld/pub/smb/smarterplanet/forr_help_cios_und_smart_city_initiatives.pdf.

WEISI, F. y PING, P. (2014): "A discussion on smart city management based on meta-synthesis method", *Management Science and Engineering*, vol. 8, n°1, pp. 68-72.

WEISS, M. *et al.* (2013): "Cidades inteligentes: casos e perspectivas para as cidades brasileiras". Disponible en: http://www.altec2013.org/programme_pdf/1511.pdf

WINTERS, J. V. (2011): "Why are Smart cities growing: who moves and who stays", *Journal of Regional Science*, vol. 51, n° 2, pp. 253-270.

ZYGIARIS, S. (2012): "Smart city reference model: Assisting planners to conceptualize the building of smart city innovation ecosystems", *Journal of the Knowledge Economy*, vol. 4, n° 2, pp. 217-231.

Cómo citar este artículo

ALDERETE, M. V. (2019): “¿Qué factores influyen en la construcción de ciudades inteligentes? Un modelo multinivel con datos a nivel ciudades y países”, *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad –CTS*, vol. 14, n° 41, pp. 71-89.