

## Digital diagrams and urban and territorial cartography. Contemporary schematic depictions of immateriality

The use of diagrams is a graphic strategy, which, given the need to establish interpretative mechanisms that help us appreciate how a structure of such great formal complexity operates, has been used for some time to depict cities and whole territories. The advent of the digital graphic universe has led to an increase in the use of diagrams applied to their design and analysis. The new digital tools applied to cartography facilitate the graphical interpretation of activities carried out in the city or territory, to define representations of the uses and functions that occur there, transcending the formal representation to generate visual images that produce fresh, new insights into human activity. Said representations are obtained by managing massive quantities of data about human activity through techniques that have become known as Big Data, generating visual interpretations where the urban and territorial composition stops taking on an exclusively architectural form,

but becomes instead a dynamic representation. It is a strategy that transcends the representation of architecture and space that used to constitute the basis of traditional cartography, and represents the uses that residents make of them, and can be applied at some very diverse scales, ranging from urban to territorial. There are a number of cartographic representation projects stemming from this type of digital strategy, and the Senseable City Lab project by MIT was chosen to examine both the potential and limitations of these types of strategies.



**Jorge Llopis Verdú**  
Phd. Architect and Full Professor at the Universitat Politècnica de València in the Architectural Graphic Expression Department. His research lines are focused on the analysis of documentary and cartographic information on architectural heritage and on the study of new architectural graphic strategies after the arrival of digital drawing.



**Juan Serra Lluch**  
Phd. architect and Professor at the Universitat Politècnica de València in the Architectural Graphic Expression Department. His research lines are focused on the role of color in modern and contemporary architecture.



**Ana Torres Barchino**  
Phd in Fine Arts from the Universitat Politècnica de València. Professor in the Graphic Expression Department in the UPV. Degree in Master in Conservation and Restoration of Architectural and Urban Heritage by the Polytechnic University of Madrid. His research lines are focused on the analysis of colour in architectural heritage and design.

Keywords:  
Diagram; Digital; Cartography; Immateriality;  
MIT

## INTRODUCTION

The advent of the new digital graphic media has led to huge transformations in the field of architectural design, both to the processes of creation, handling and representation of the architecture, and in what refers to the representation on an urban and territorial scale. Both cases have brought about a profound instrumental change which is ultimately linked to profound conceptual changes, as it has provided us with new ways of interpreting architecture, cities and territories; transformations which, given the close links between abstract thought and the linguistic means employed to create it, imply not only changes in the way in which we represent reality, but rather a new way in which to understand and interpret it.

With regard to cartography, we would like to point out that these transformations have come into play in two key aspects of the graphic creation process: the processes of identification, selection and cataloguing of data appropriate for the correct characterisation of the represented space, and their graphic representation mechanisms to give rise to analytical imagery that not only replicate the physical characteristics of the object, but also contain abstract and conceptual information.

With regard to the former, it should be highlighted that the availability of objective information, as well as a definition of its selection, classification and representation criteria, has always been one of the fundamental aspects on which cartographic science is based. Determining what has to be represented in a map defines its own character and conditions and the languages selected for its materialisation. A good example of this accumulative know-how generated by the systematic collection of information and its materialisation into scientific cartographic representations would be that of the portulanos or portolan chart, the first nautical coastal charts, a product of the patient fragmentary accumulation of data produced through direct experience from the endless cabotage activities, in a process that led to the creation of the first mo-



Fig. 1 - Joan Martines: Portolan Chart (1570). Biblioteca Nacional de España.

dern maps and caused a change in how the world was perceived. [1] [Figure 1]

Although the earliest charts were written through a gradual process of information gathering and refinement, currently, they allude to the ability to manage massive quantities of data that the modern information society has put at our disposal. One aspect that not only refers to the emergence of tools that provide us with an almost mimetic definition of the physical characteristics of the ter-

rain, but also includes the data collected from the growing number of electronic gadgets that accompany us as we go about our daily activities, and that refer to such diverse aspects as the almost universal availability of mobile phones, whose location and data flows can be monitored in real time; the increasing use of cameras to manage traffic flows in cities and lanes of traffic; or the massive quantity of information about the economic, commercial and financial flows, among others. A new way in which to work, based on so-called Big Data, a





Fig. 2 - Peutinger's Tabula. (S.IV). Österreichische Nationalbibliothek. Vienna.

concept that refers to datasets or a combination of datasets, whose volume, complexity and rate of growth hinders any processing or analysis using conventional technologies and tools, such as relational databases and conventional statistics or visualisation suites, within the necessary timeframe for them to be of any use. This massive quantity of data, frequently referring to specific physical and geographic locations, can, by having geolocation applied, be linked to a cartographic representation, exponentially expanding the volume of information contained therein, but which requires new digital tools to be able to visualise them, and which transcends traditional cartographic representation.

The second aspect that we set out at the start of this article, which is directly related to the need to create new data representation tools over a cartographic platform, refers to the widespread use of the schematic diagrams in the new digital graphics process. The use of diagrams is a graphic strategy which has enabled us to represent the city and the territory for some time. Historically it has carried out a dual function in the field of town planning: determine preliminary design patterns and enable the schematic and interpretive representation of the urban and territorial environment in a meaningful way. If all maps are a graphical convention

that implies a greater or lesser degree of abstraction, the threshold between a map and a diagram revolves around the fact that the straightforward description of the form is abandoned, replaced instead by a direct representation of the processes that take place in the space being represented, via an encoded graphical abstraction that enables it to be understood. This schematic function has been a constant feature of graphical representation of a territory from the outset. An early example of its use is Peutinger's Tabula, which schematically represents the road structure of the late Roman Empire. The tabula is a diagrammatic map using an abstract approach to illustrate the road network of the Roman Empire; it does not represent the space, but rather its use, its function. It symbolizes the directional relationship of cities based on their location within the road network, irrespective of distances and geographic location [2]. [Figure 2]

The ability of new digital tools to provide increasingly more accurate representations of reality is now fully accepted. The new ways in which topographic data is captured is such that each digital capture allows us to define accurate and reliable information from each point of the territory, with a degree of accuracy that traditional cartography could not even begin to imagine. Conversely, the

ability of new digital media to generate interpretive diagrams of said information, achieved in the same way as the Peutinger's Tabula —in other words, reflecting the physical reality, but linking conceptual and process-based information — has attracted less attention. A process that is exponentially facilitated by digital media that has burst onto the cartography scene to radically transform earlier conventions and has given rise to new uses and representations of space —both urban and territorial— and of the information associated with it.

## DIAGRAM AND DIGITAL ARCHITECTURE

The influence that digital media has had on cartography has not limited itself to improving its traditional foundations, advocating new forms of graphical representation that boasts a high level of accuracy that has been afforded by modern means of capturing physical data about the territory. It has also given rise to other more far-reaching transformations that have had an impact on two aspects that we believe to be of particular interest: the direct instrumental link between the diagram and formal modelling programmes, and the appearance of new interactive digital tools that enable us to define the immaterial variables of the urban form.

In the first case, we find ourselves with digital graphic processes that use the diagram as a platform for project processes within an urban or territorial context. They are diagrams with an eminently formal component, but which frequently have their origin in the definition of functional variables that are formalized through digital graphic operations, such as the application of new parametric strategies for generation and handling, stemming from the initial schema of functional and formal variables that have to be met in the project. The diagram does not represent the form given that being a conceptual graphic representation, it does not have one; nevertheless, it does condition it. It acts as a genetic fingerprint of the entire process, instructing it to comply with

a series of prior goals that must be met for the project to successfully meet its initial formal and functional assumptions. Its function is to determine the relationships that need to be produced between the different elements that comprise it, enabling it to be employed as a formative abstract principle, which, when applied to successive formal transitions of the generative process design, ensure that the internal relationships are maintained during the successive transformations that define the final result. What interests us about this point is that this genetic generating diagram, in the case of urban and territorial design, can be obtained from the housing processes and from the real traffic flows of the environment on which it acts, linking the large scale architectural creative processes with the digital diagrams that nurture a part of the urban and territorial mapping developed using digital platforms. If this genetic diagram is based on the digital analysis of the processes that are expected to take place in the city and in the territory, the new digital cartographies, which we will analyze later, use analogous tools to interpret the activities that actually take place in them. Both are based on similar digital tools, which allows us to understand the depth of the global changes that have taken place in the last 20 years, after the arrival of digital graphic representation in architecture and urbanism.

There are numerous examples of this design function of the diagram in contemporary architecture, but the use of diagrammatic schematics as a blueprint for the formal generating operations of large-scale approaches is a common occurrence in the Masterplans of authors such as Peter Eisenman and Zaha Hadid. Peter Eisenman's project for the Santiago de Compostela City of Culture perfectly reflects the intimate relationship that exists between abstract schematics, found at the start of the creative process, and the digital graphics manipulation that underpins the later formalisation [Figure 3]. The diagram acts as an abstract representation of the territory as a whole, becoming analytical representations which, when superimposed and

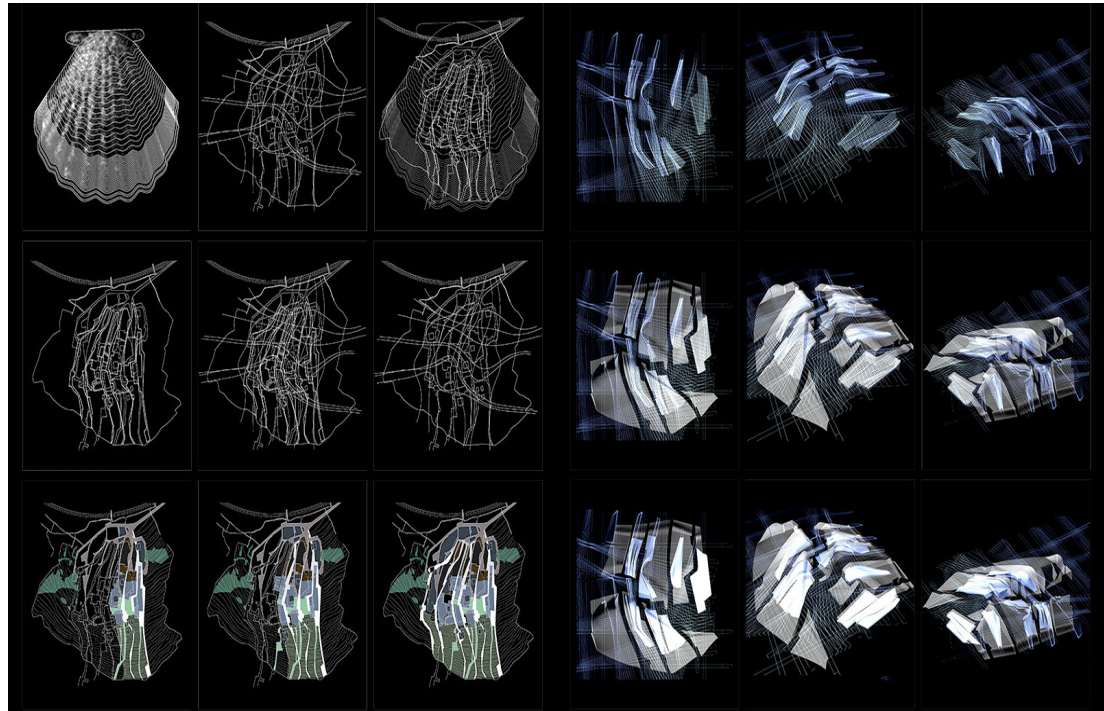


Fig. 03 - Eisenman. P. Diagrammatic schemes of the City of Culture of Galicia (2011). © Eisenman Architects

supported over the overall planimetry, represent the immaterial uses that underpin the territory. Another example of this type of strategy where the diagram plays a key role in the abstract representation of the territorial scope, would be the London 2066 project by architect Zaha Hadid [Figure 4]. It is, in her own words, a large-scale rendering that advocates a radical transformation of the metropolitan areas of London. An abstract image that does not limit itself to representing the proposed physical shape of the city and its surroundings, but rather in its graphical abstraction represents the uses, traffic flows, and even flight paths.

Perhaps it is not correct in either case to speak of cartographic representations per se, in so much as more than representing reality, they constitute design proposals that transcend it; but they are of interest in so much as both, as occurs with the design planimetry of numerous contemporary architects, reflect a new way in which to represent the immaterial aspects of the spaces and the processes that take place in them; a methodology based on abstraction and supported by the potential of new digital tools.



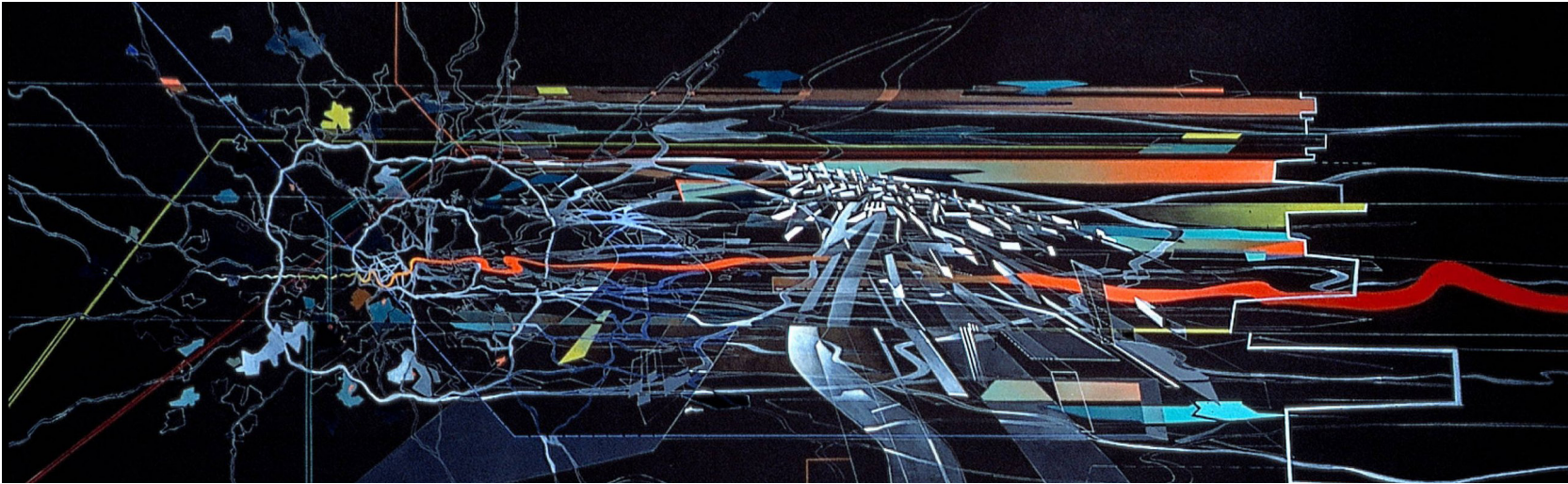


Fig. 4 - Hadid, Z. London 2066 (1991). © Zaha Hadid Foundation

#### NEW DIGITAL CARTOGRAPHIES AND THE REPRESENTATION OF IMMATERIALITY.

These types of architectural digital strategies correspond to the appearance of a new type of digital cartography that is based on innovative strategies, both in the capturing and management of information and in the creation of new graphic methodologies to represent it. These are graphic representations aimed not only at showing the physical reality of the city and the territory but also defining representations of the uses and functions that occur there, transcending the formal representation to generate visual images that produce innovative visions of human processes and their impact on the territory. These are representations obtained thanks to the management of huge amounts of data, leading to interpretations where the urban or territorial form stops being exclusively architectural, becoming instead dynamic representations of their function. It is a strategy that transcends the representation of architecture and spaces that form the basis of traditional cartography, representing instead the uses that residents make of

these spaces, applying them at very different scales, from cities to territories.

There are a number of planimetric representation projects that stem from this type of digital strategy, the benchmark for which is the Senseable City Lab project by MIT (Massachusetts Institute of Technology) that takes an in-depth review of the potential as well as the limitations of this type of strategy. The project created by MIT puts forward the generation of layers and networks of digital information to study the built environment [3]. With its multidisciplinary approach, projects bring together research teams of architects, town planners, engineers, physicists, biologists and social scientists, together with the direct involvement of institutions, businesses and official organisations, to deploy digital tools that analyse such diverse aspects of the built environment as traffic flow, the density of use of public spaces, the concentration of digital activity, the evolution of the green canopy cover of urban spaces, the density and temporality of commercial activities and economic flows, etc. An analytical process which frequently appeals to

the participatory nature of local residents through social networking or the use of data generated through the activities of their daily lives, which produce innovative graphic representations of activities carried out in the inhabited territory, both static and dynamic, with new ways of representing it; in other words, a new type of digital mapping resulting in a new way of understanding and representing our surroundings.

With the aim of generating real-time representations of processes that occur in the analysed field, they resort to their own management procedures which have become known as Big Data, managing vast data sets captured from the electronic instruments that accompany us throughout our daily activities, with the geolocation capability of each individual piece of data enabling us to generate graphic representations that provide visualisations of the global processes. In the case of Senseable City Lab, it refers to more than one hundred projects that deal with a variety of different topics and issues, although a thorough analysis addressing the origin of the data that forms the

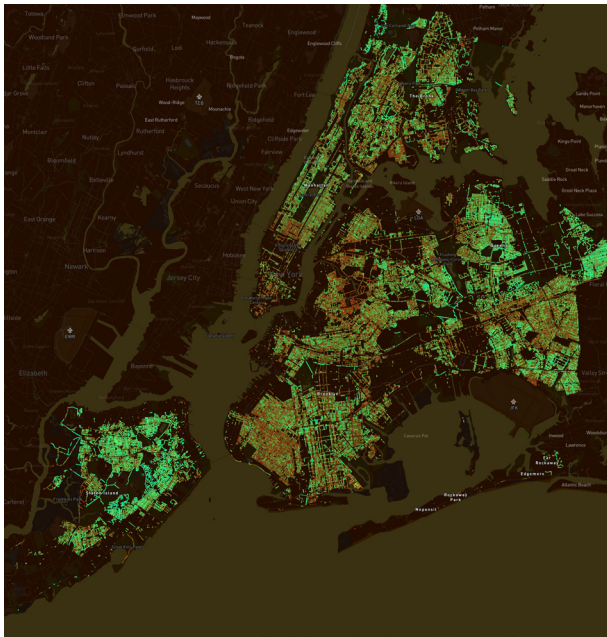
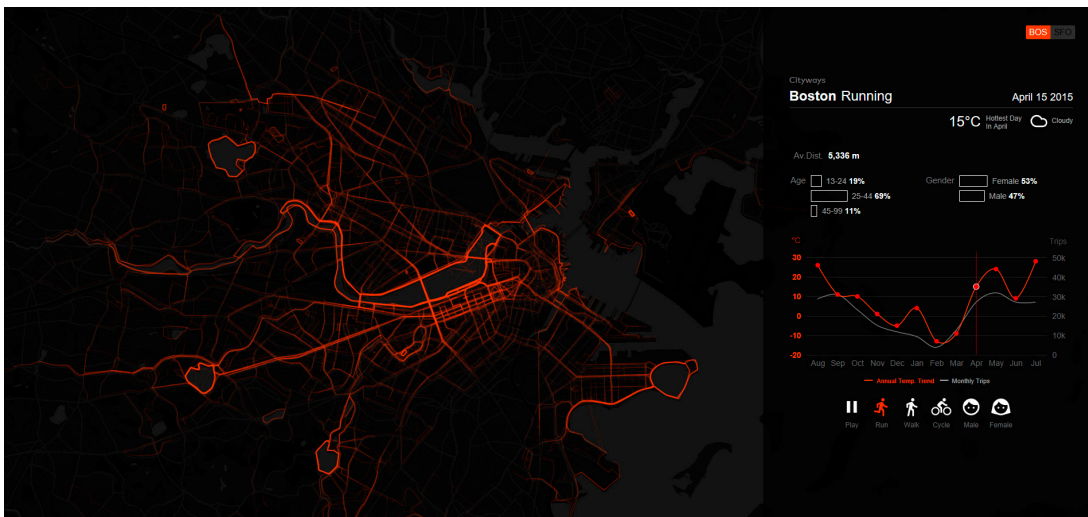


Fig. 5 - Ratti, C.; Seiferling, I.; Li, X.; Ghaeli, N.; So, W. Treepedia. Map of the green canopy cover of New York (2016). MIT Senseable City Lab.. <http://senseable.mit.edu/treepedia/cities/>

Fig. 6 - Ratti, C.; Vanky, A.; Santi, P.; Duarte, F.; Song, H.; Ma, R.; So, W. Cityways. Map of jogging routes in Boston during the month of April. (2017) MIT Senseable City Lab. <http://senseable.mit.edu/cityways/>



foundation of the representation allows us to reduce them to four conceptually similar groups: projects based on the management of massive amounts of data extracted from sensors that monitor activity; those based on the management of the geolocation of smartphones and mobile devices; the analysis of the flows of digital financial transactions; and the fingerprints of social networks. Four strategies that allow us to graphically represent four ways of using space and territory.

The first group of projects focus on using data collected from static and dynamic sensors. From an analysis of the data collected from urban and traffic management cameras, pattern recognition algorithms for the profiling of objects collected in said data, analysis of sensors intended to quantify and profile traffic, pedestrian flows, as well as climate, pollution and temperature parameters, etc., we are able to create themed representations that enable us to visualise activities that characterise the city and the territory, leading to representations of immaterial functional aspects which are either based on geographical maps, or manifest themselves through abstract diagrams that provide an alternative representation of the traditional image of the material territory.

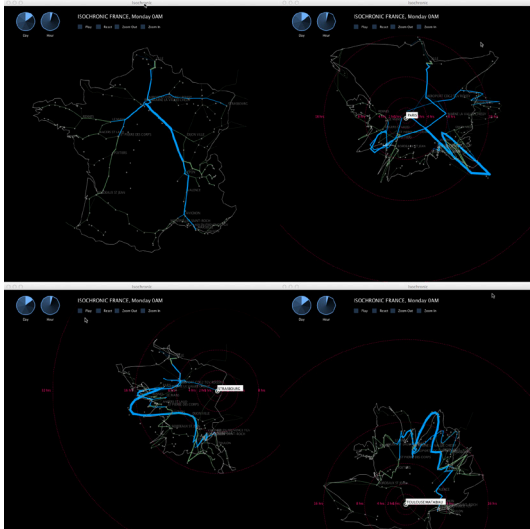
This strategy of capturing and processing data can be seen in projects such as Treepedia, Cityways and Trains of Data. The Treepedia project focuses on the analysis of the quantity and quality of the green canopy cover applying artificial vision techniques to the images of Google Street View [Figure 5]. It is based on the use of an algorithm that automatically analyses the obstruction of tree canopies, generating an image that represents the human perception of the environment from the street level, assessing the amount of green canopy cover of inhabited urban spaces and consequently, their habitability. The Cityways. Unveiling Recreational Movement in Urban Areas project quantifies and represents the routes taken by the inhabitants of San Francisco and Boston by monitoring apps on mobile telephones that residents use in their free time [Figure 6]. The result is an



image that represents the factors that influence outdoor human activity, such as climate, urban morphology, topography, traffic and the presence of green areas etc., during the twelve months of the year, reflecting any variations in these activities vis-à-vis the climatic and environmental factors of each season.

Lastly, Trains of Data - Isochronic France is a joint project between MIT and the research and innovation division of the SNCF (French National Railways) to investigate new ways of discovering how people get to the different areas of France using the country's high-speed rail network [Figure 7]. Taking advantage of the comprehensive network of sensors that control the French rail network, you can create a visual representation of the time used to travel said routes throughout the whole of France, creating isochronal animations that represent the territory of France, although

Fig. 7 - Kloeckl, K.; Chen, X.; Sommer, C.; Ratti, C.; Biderman, A. Train of Data. (2012). MIT Senseable City Lab. <http://senseable.mit.edu/trainsofdata/>



<http://disegnarecon.univaq.it>

using the time of the journeys in hours as the unit of measure rather than the distances in kilometres. The result is an image that is totally different from the geographic image which we are more accustomed to seeing, namely by replacing the unit of measure that is behind the representation.

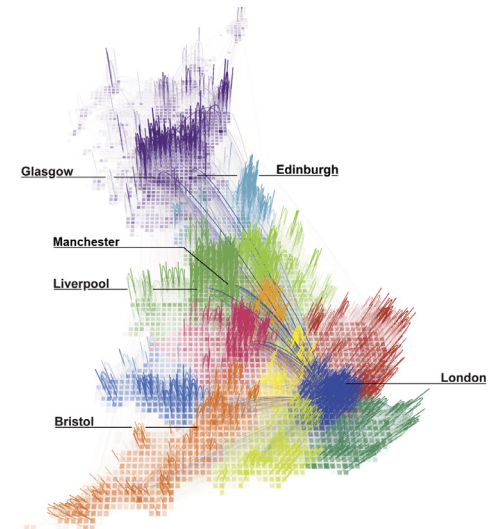
The data collection and management strategy that characterise the second block of selected projects is based on the monitoring of the location and the use of mobile telephones to represent human activity in urban spaces. The aim of projects such as Real Time Rome and Network & Society, is to monitor and represent the use of spaces through the geolocation of the people who inhabit them, creating a series of images that change in real time as the flows of people and the character of their activities change, while at the same time facilitating the almost immediate interaction between the inhabitants and the data gathered, which enables us to guide activities at all times. The

Fig. 8 - Biderman, A.; Calabrese, F.; Kloeckl, K.; Ratti, C.; Resch, B.; Vaccari, A. Wikicity Rome, 2007. MIT SENSEable City Lab. <http://senseable.mit.edu/wikicity/rome/>



goals of these types of strategies vary in nature, and range from the need to collect and interpret information that allows us to anticipate the functional needs of the spaces, and is aimed at urban and territorial planners, and can even create networks that go as far as guiding users, providing them real-time information about everything taking place in their immediate vicinity. The Real Time Rome project, the sequel to the Wikicity Rome project, is directly aimed at users [Figure 8]. Presented for the first time at the 2006 edition of the Venice Biennale, the project was designed to transmit operational information about the city to users, to enable individuals to make informed decisions in real time. By monitoring the movement of mobile telephones, dynamic images were created to visualise traces of information and communication networks, movement patterns of people and transportation systems, the spatial and social usage of streets and neighbourhoods, etc. These real-time maps help to understand how urban spaces are used over the

Fig. 9 - Ratti, C.; Sobolevsky, S.; Calabrese, F.; Andris, C.; Reades, J.; Martino, M.; Claxton, R.; Strogatz, S.H. Network & Society: Borderline. (2010). MIT SENSEable City Lab. Map of human interactions in Great Britain using mobile phone calls. <http://senseable.mit.edu/network/network&society2.html>



course of the day, the correlation between modes of transport and the concentration of potential users; how the assets and services of a city are distributed; or how different social groups, such as tourists and local residents inhabit the city. With the resulting displays projected in real time on screens located in urban spaces in the city of Rome, users are able to interpret and react to the shifting urban environment.

The second project analysed within this group, the so-called Network & Society is more complex and varied. Based on a similar strategy, it consists of a broader analysis that takes on a varied series of sectors, which leads to a diversity of cartographic representations that employ various different representation strategies. This is the case of Borderline [Figure 9], which uses interactions between mobile phones to trace a map of Great Britain, redrawn per se to represent the areas of greatest interaction and the intensity of interpersonal connection, at the cost of the physical and political boundaries of the territory; the section titled Urban Activity Patterns, generates forecast maps for the location of individuals based on previous behaviour, from both an individual and a collective perspective; in Urban Visualization Tools [Figure 10] a digital diagram is proposed that represents the interactions of crowds against an urban backdrop; Urban Transportation analyses accessibility in Rome based on GPS mapping of buses that are part of the communication network; Urban Gravity analyses the communications of 2.5 million clients on mobile phone networks to create country-wide representations of interactions between users on two levels: at the microscopic level that concerns the individual, and at the macroscopic level that represents the interactions between 571 cities in Belgium; and last but not least, Urban Traces [Figure 11] which enables us to visualise real-time urban activities by monitoring the transport system, including both vehicles and pedestrians, using a strategy that is reminiscent of the one described earlier as part of the Real Time Rome project. Network & Society provides us with a panoramic image of the broad range of analysis strategies that can be developed using digital analysis and visualisation techniques applied to the moni-

<http://disegnarecon.univaq.it>

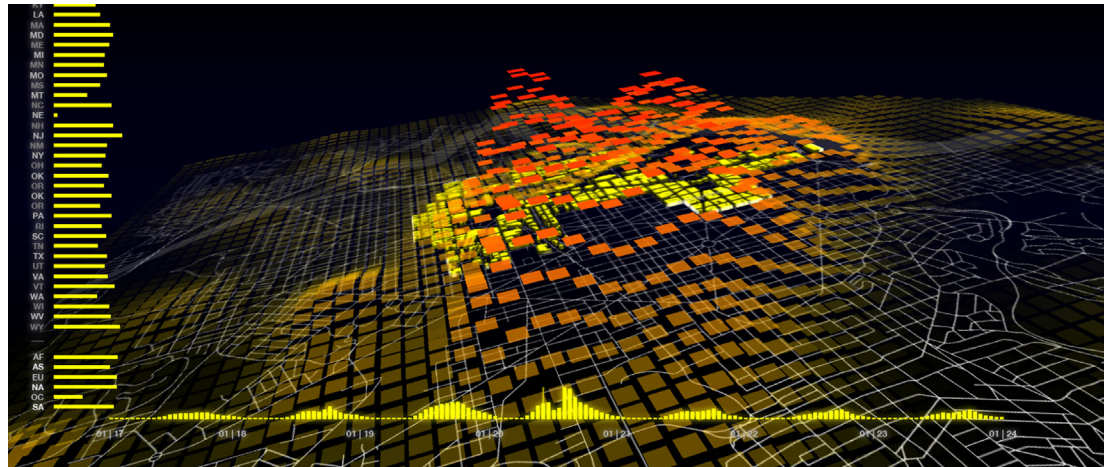
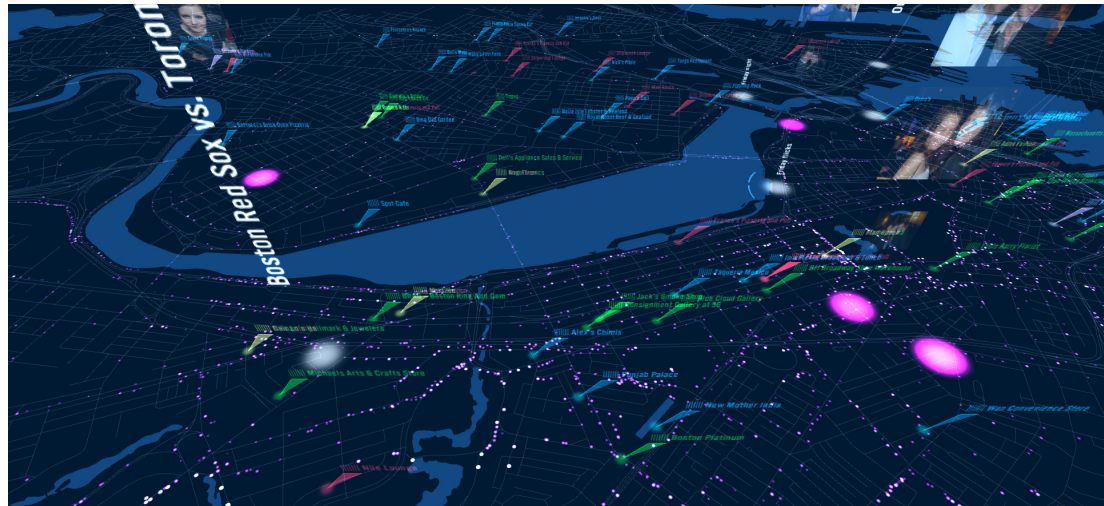


Fig. 10 - Ratti, C.; Sobolevsky, S.; Calabrese, F.; Andris, C.; Reades, J.; Martino, M.; Claxton, R.; Strogatz, S.H. Network & Society: Urban Visualization Tools. (2010). MIT SENSEable City Lab. Visualization of interactions in public spaces. <http://senseable.mit.edu/network/network&society2.html>

Fig. 11 - Ratti, C.; Sobolevsky, S.; Calabrese, F.; Andris, C.; Reades, J.; Martino, M.; Claxton, R.; Strogatz, S.H. Network & Society: Urban Traces. (2010). MIT SENSEable City Lab. Visualisation of human activity in real time. <http://senseable.mit.edu/network/network&society2.html>





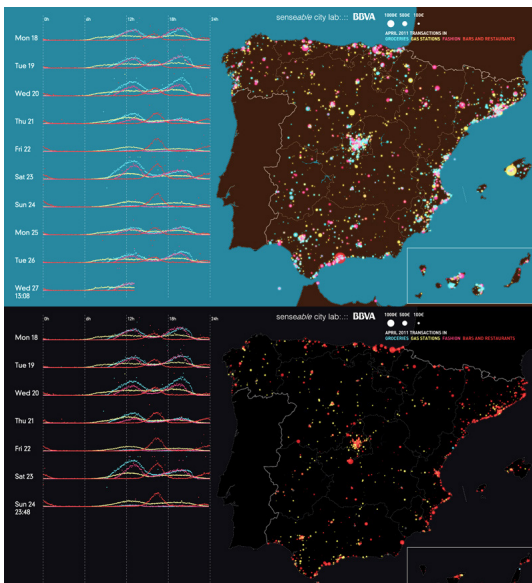


Fig. 12 - Cruz, P.; Sobolevsky, S. Spring Spree. (2011). MIT SENSEable City Lab.. <http://senseable.mit.edu/bbva/>

toring of mobile telephones, creating completely innovative and digital representations, each one different, as well as the interaction between the cartography and the user in real time to facilitate the use of the city and the territory based on information provided at all times using the cartographic representations described above.

The third block of projects advocates a visual reading of the flow of electronic data stemming from commercial transactions, to create an image of the economic processes taking place across the territory as a whole. Included within this block would be the Spring Spree project, which dynamically visualises the spending patterns across the whole of Spain over the Easter period in 2011 using databases belonging to the BBVA, one of Spain's major financial corporations [Figure 12]. The result is a dynamic diagram superimposed over the geographic structure, reflecting as such

<http://disegnarecon.univaq.it>

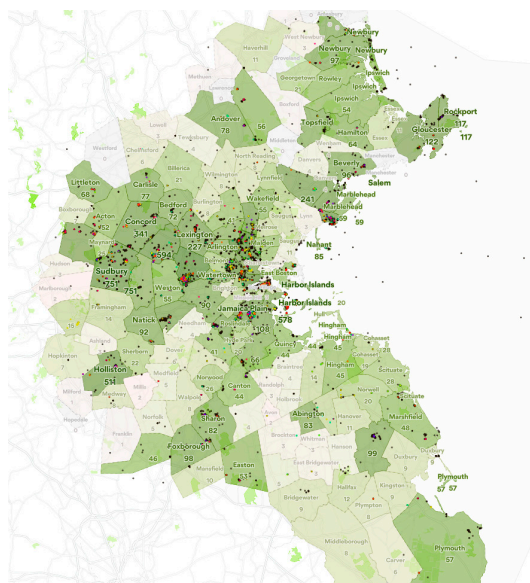


Fig. 13 - City Nature Challenge. (2018). MIT SENSEable City Lab. Species map of Boston. <http://senseable.mit.edu/city-nature-challenge>

both the intensity of the patterns of economic activity of consumers, as well as its geographic concentration and the distribution of the different transactions over the course of the week or during the day or at night.

There is one final set of digital representations based on data collection strategies from social networks. The information represented in this type of digital map is based on the gathering of information directly contributed by users over the Internet, either of their own volition specifically for the project, constituting as such a collaborative strategy, or automatically without the express involvement of users of said networks. The first group encompasses those carried out in the City Nature Challenge [Figure 13] and Boston 3-1-1 Incident Reports [Figure 14] projects. The first, is a kind of a collaborative initiative where the inhabitants from different cities compete against each other

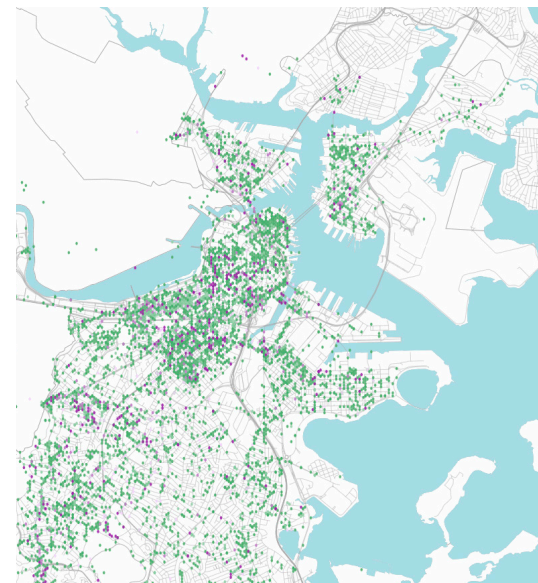


Fig. 14 - Lee, J.K.; Gross, B.; Offenhuber, D. Boston 3-1-1 Incident Reports (2012). MIT SENSEable City. <http://senseable.mit.edu/bos311/>

to document natural species found within the confines of the metropolitan area —plants, animals and fungi—, through the use of a specialised App called iNaturalist. In 2019, it was carried out in more than 150 cities around the world, resulting in themed cartographies that automatically collected and classified the contributions of participants. Boston 3-1-1 Incident Reports, is also a collaborative initiative which advocates the creation of a map showing urban incidents that have been reported over the phone by local residents, creating a map to reflect these, whereby the inhabitants take part in the process of prioritising elements that need to be repaired by the authorities. In the case of digitally generated cartography following the analysis of data uploaded by users of social networks is concerned, the Seesomethingorsay something is of particular interest. It consists of territorial visualisations mapped out through the photographs uploaded over the Internet by users of Flickr

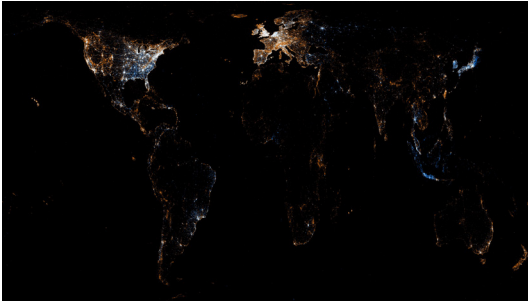


Fig. 15 - Fisher, E. See something or say something. (2011).  
[https://www.flickr.com/photos/walkingst/sets/72157627140310742/?utm\\_source=weibolife.appspot.com](https://www.flickr.com/photos/walkingst/sets/72157627140310742/?utm_source=weibolife.appspot.com)

and Twitter [Figure 15]. The geolocation of the images constitutes a new cartographic approach resulting in a digital development map in the different continents which is ultimately a global development map. An image built automatically following the management of millions of pieces of data using modern Big-Data strategies that is capable of incorporating a time variable to see how the level of digital development changes over time, and that provides evidence of the potential of the new digital media to create new images that are ultimately cartographic in nature.

## CONCLUSIONS

The set of proposed solutions described above underline the emergence of a new way of representing the territory. A form of representation based on digital strategies that come into play in two fundamental aspects of cartography that we set out at the start of this paper: the strategies of identification, collection and handing of data that are reflected in cartography; and the graphic representation strategies used. The processing mechanisms of Big Data have enabled us to incorporate huge quantities of information within the cartographic representations, something which had previously been impossible. Current digital strategies enable us to build maps through an automated digital management of the databases, generating thematic representations based on any variable that can be electronically collected and processed, transcending the earlier limitations of cartographic

<http://disegnarecon.univaq.it>

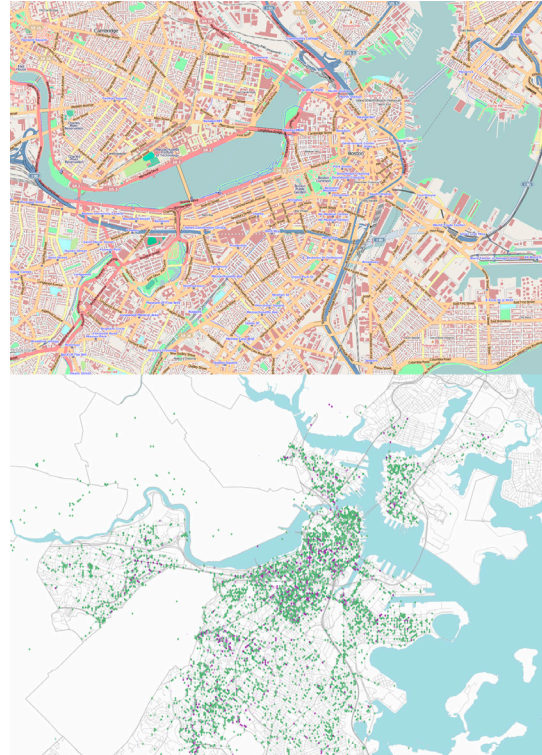
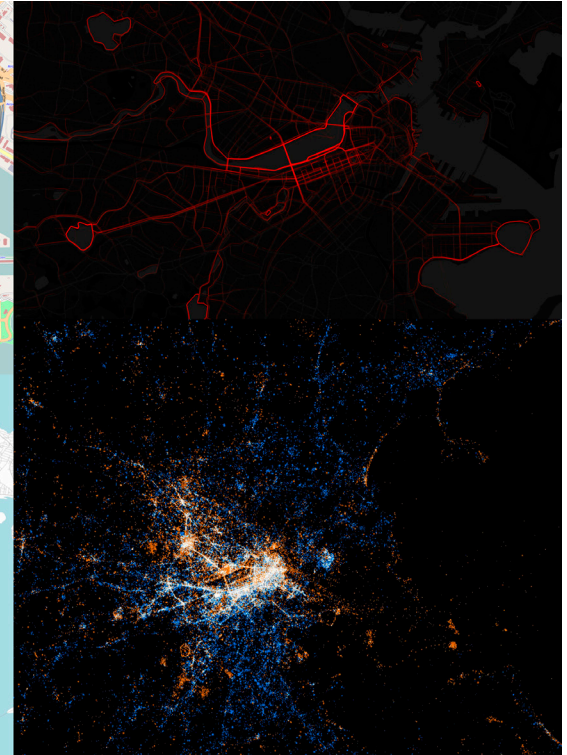


Fig. 16 - Alternative cartographic representations of the metropolitan area of Boston. From top to bottom and from left to right: Traditional cartographic representation, Boston 3-1-1 Incident Reports, City Nature Challenge, Citiways.

science. These types of strategies allow us to create a number of alternative visualisations of the same reality, as can be seen in the different images of the city of Boston [Figure 16], where alternative representations have been added to traditional cartography to reflect both physical realities obtained from digital strategies for data gathering, as well as representations of a variety of immaterial aspects such as traffic flows, use of land footprints over time, or the user activity of each space on social networks. Meanwhile, the advent of modern digital techniques to manipulate images allow us to propose new information visualisation strategies; strategies that are not confined to the narrow limitations of physical reality, and which frequently culminate in dia-



grammatic representations that can be linked, or not, to the representation of the physical space of the city and the territory, and that can incorporate the time variable to be able to represent variations over time of the information incorporated into the cartography. New forms of representing the functions and activities carried out on a physical space that enable us to represent the immaterial, the footprint of man on the territory.



## NOTE

[1] Joan Martines was appointed cosmographer of the monarch Philip II in 1591. His portulans and atlases were intended for sailors who were going to America. The National Library of Spain retains two port atlases of 1570 and 1587.

[2] The Peutingerian Tabula is preserved in the Austrian National Library in Vienna. The original map was made in the fourth century, being the oldest copy of a 13th-century Colmar monk. It is a scroll of parchment 0.34 m high and 6.75 m. of length divided into 12 segments, of which the first has been lost, which contained Hispania and the British Isles.

[3] Carlo Ratti, Director of MIT SENSEable Media Lab, describes the objectives of the laboratory in the following terms: "The SENSEable City Laboratory's research approaches on studying and predicting how digital technology is changing the way we describe, design, and occupy cities. Interconnected computational elements are increasingly saturating the built environment (whether small-scale mobile devices, or larger-scale infrastructural microprocessors). This new condition allows us to design technology that could function as an interface between people and the city. Projects carried out at the lab are intended to help us learn how the cities are used and thus make better use of their resources and improve their design". Recovered in June 26, 2019 from <https://dusp.mit.edu/uis/project/senseable-city-lab>

## REFERENCES

Boorstin, D. J. (1997). *Los descubridores I. El tiempo y la geografía*. Grijalbo Mondadori: Barcelona.

Dalché, P. G. (2003). La trasmissione Medievale e Rinascimentale della Peutinger's Tabula. In *Prontiera F. Peutinger's Tabula: Le Antiche vie del mondo* (p. 43-53), Florencia: Olschki.

Eisenman, P. (2000). Diagramas. Un escenario original de escritura. *Pasajes*, 15, 24-28.

Li, X., & Ratti, C. (2018). Mapping the spatial distribution of shade provision of street trees in Boston using Google Street View panoramas. *Urban Forestry & Urban Greening*, 31, 109-119. doi:10.1016/j.ufug.2018.02.013

Li, X., Santi, P., Courtney, T. K., Verma, S. K., & Ratti, C. (2018). Investigating the association between streetscapes and human walking activities using Google Street View and human trajectory data. *Transactions in GIS*, 22(4), 1029-1044. doi: doi.org/10.1111/tgis.12472

Llopis, J. (2018). *Dibujo y arquitectura en la era digital*. Valencia: Editorial Politécnica

Nagel, T., Maitan, M., Duval, E., Moere, A. V., Klerkx, J., Kloeckl, K., & Ratti, C. (2014, May). Touching transport-a case study on visualizing metropolitan public transit on interactive tabletops. In *Proceedings of the 2014 International Working Conference on Advanced Visual Interfaces* (pp. 281-288). ACM.

Offenhuber, D., & Ratti, C. (2014). *Decoding the city: Urbanism in the age of big data*. Birkhäuser.  
Ratti, C., & Claudel, M. (2016). *The city of tomorrow: Sensors, networks, hackers, and the future of ur-*

*ban life*. Yale University Press.

Sagarra, O., Szell, M., Santi, P., Diaz-Guilera, A., & Ratti, C. (2015). Supersampling and network reconstruction of urban mobility. *PLoS One*, 10 (8), doi:10.1371/journal.pone.0134508

Seiferling, I., Naik, N., Ratti, C., Proulx, R. (2017). Green streets – Quantifying and mapping urban trees with street-level imagery and computer vision. *Landscape and Urban Planning* 165: 93–101. doi: 10.1016/j.landurbplan.2017.05.010

Senseable City Lab: Massachusetts Institute of Technology. Retrieved May 19, 2019, from <http://senseable.mit.edu/>

Offenhuber, D. (2014). Infrastructure legibility—a comparative analysis of open311-based citizen feedback systems. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 8(1), 93-112. doi:10.1093/cjres/rsu001

Ratti, C., Sobolevsky, S., Calabrese, F., Andris, C., Reades, J., Martino, M. & Strogatz, S. H. (2010). Redrawing the map of Great Britain from a network of human interactions. *PLoS one*, 5(12). doi: 10.1371/journal.pone.0014248

Sobolevsky, S., Szell, M., Campari, R., Couronné, T., Smoreda, Z., & Ratti, C. (2013). Delineating geographical regions with networks of human interactions in an extensive set of countries. *PLoS one*, 8(12). doi: 10.1371/journal.pone.0081707

Sobolevsky, S., Sitko, I., Des Combes, R. T., Hawelka, B., Arias, J. M., & Ratti, C. (2016). Cities through the prism of people's spending behavior. *PLoS one*, 11(2). doi:10.1371/journal.pone.0146291

Van Horn, G., Mac Aodha, O., Song, Y., Cui, Y., Sun, C., Shepard, A., ... & Belongie, S. (2018). The inaturalist species classification and detection dataset. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 8769-8778).

## Diagrama digital y cartografías urbanas y territoriales. Representaciones contemporáneas de la inmaterialidad.

El empleo de diagramas es una estrategia gráfica que desde hace mucho tiempo ha permitido representar la ciudad y el territorio, dada la necesidad de establecer mecanismos interpretativos que permitan comprender el funcionamiento de una estructura de gran complejidad formal. El advenimiento del universo gráfico digital ha conllevado un auge del diagrama aplicado al diseño y al análisis de la ciudad y del territorio. Las nuevas herramientas digitales aplicadas a la cartografía posibilitan la interpretación gráfica de las actividades desarrolladas en la ciudad y en el territorio, para definir representaciones de los usos y funciones que se desarrollan en los mismos, trascendiendo la representación formal para generar imágenes visuales que producen visiones novedosas de los procesos humanos. Se trata de representaciones obtenidas a partir de la gestión de cantidades masivas de datos relativos a la actividad humana a través de técnicas de lo que ha dado en denominarse Big Data, generándose interpretaciones vi-

suales en las que la forma urbana y territorial deja de ser exclusivamente forma arquitectónica para constituirse en representaciones dinámicas. Es una estrategia que trasciende la representación de arquitecturas y espacios que constituía la base de la cartografía tradicional, para representar los usos que los residentes hacen de los mismos, aplicándolas a escalas muy diversas que oscilan entre lo urbano y lo territorial. Son múltiples los proyectos de representación cartográfica derivadas de este tipo de estrategias digitales, entre las que se ha elegido el proyecto Senseable City Lab del MIT para profundizar en el potencial y los límites de este tipo de estrategias.

### INTRODUCCIÓN

El advenimiento de los nuevos medios gráficos digitales ha provocado profundas transformaciones en el ámbito gráfico arquitectónico, tanto en lo relativo a los procesos de generación, manipu-

lación y representación de la arquitectura, como en lo que hace referencia a la representación de la escala urbana y territorial. En ambos casos se ha producido una profunda transformación instrumental que, en último término, va ligada a cambios conceptuales profundos, ya que han puesto a nuestra disposición nuevas maneras de interpretar la arquitectura, la ciudad y el territorio; transformaciones que, dada la íntima relación que vincula el pensamiento abstracto con los medios lingüísticos empleados para su concreción, implican no tan solo cambios en la manera en la que representamos la realidad, sino una nueva manera de comprenderla e interpretarla.

En el ámbito de la cartografía nos interesa destacar que estas transformaciones han incidido en dos aspectos fundamentales del proceso de generación gráfica: los procesos de identificación, selección y catalogación de aquellos datos relevantes para la correcta caracterización del



espacio representado, y los mecanismos gráficos de representación de los mismos para dar lugar a imágenes analíticas, que no tan solo replican las características físicas del objeto, sino que son portadoras de información de carácter abstracto y conceptual.

En lo relativo al primero de estos aspectos, es necesario destacar que la disponibilidad de información objetiva, así como la definición de criterios de selección, clasificación y representación de la misma, ha sido desde siempre uno de los aspectos fundamentales en los que se ha asentado la ciencia cartográfica. Determinar qué ha de ser representado en una cartografía define su propio carácter y condiciona los lenguajes seleccionados para su materialización. Un ejemplo de este saber acumulativo generado por la recopilación sistemática de información y su concreción en representaciones cartográficas científicas sería el de los portulanos, las primeras cartas náuticas costeras producto de la paciente acumulación fragmentaria de datos producida por la experiencia directa a través de la constante navegación de cabotaje, en un proceso que generará los primeros mapas modernos y provocará el cambio en la percepción del mundo. [1] [Figura 1]

Si bien las cartografías antiguas se construían mediante un proceso gradual de acumulación y reajuste de la información, en la actualidad hay que hacer referencia a la capacidad de gestión de cantidades masivas de datos que la moderna sociedad de la información pone a nuestra disposición. Un aspecto que no tan solo hace referencia a la aparición de herramientas que nos permiten una definición casi mimética de los aspectos físicos del terreno, sino que incluye los datos recogidos a través de la cada vez mayor cantidad de dispositivos electrónicos que acompañan nuestras actividades diarias, y que hacen referencia a aspectos tan diversos como la disposición casi universal de teléfonos móviles, cuya ubicación y flujo de datos es monitorizado en tiempo real; el empleo cada vez mayor de cámaras para el control de los flujos circulatorios en las ciudades y las vías de circulación; o la masiva cantidad de información relativa a los flujos económicos, co-

merciales y financieros, entre otros. Una nueva manera de trabajar que se asienta sobre lo que se ha dado en denominar Big Data, un concepto que hace referencia a conjuntos de datos, o combinaciones de conjuntos de datos, cuyo volumen, complejidad y velocidad de crecimiento dificultan su procesamiento o análisis mediante tecnologías y herramientas convencionales, tales como bases de datos relacionales y estadísticas convencionales o paquetes de visualización, dentro del tiempo necesario para que sean útiles. Esta cantidad masiva de datos, frecuentemente referida a localizaciones físicas y geográficas concretas, pueden, al estar geolocalizadas, ser objeto de vinculación a una representación cartográfica, ampliando exponencialmente el volumen de información del que una cartografía es portadora, pero requiriendo para su visualización nuevas herramientas de carácter digital que trasciende la representación cartográfica tradicional.

El segundo aspecto que enunciábamos al empezar este artículo, que está directamente vinculado con esta necesidad de desarrollar nuevas herramientas de representación de los datos sobre una base cartográfica, hace referencia al empleo generalizado del diagrama en los nuevos procesos gráficos digitales. El empleo de diagramas es una estrategia gráfica que desde hace mucho tiempo ha permitido representar la ciudad y el territorio, habiendo cumplido históricamente una doble función en el ámbito del urbanismo: establecer patrones previos de diseño y posibilitar la representación esquemática e interpretativa del ámbito urbano y territorial de una forma comprensible. Si todo mapa es una convención gráfica que implica un mayor o menor grado de abstracción, el límite entre un mapa y un diagrama estriba en el hecho de que se abandone la descripción directa de la forma para representar directamente a los procesos que tienen lugar en el espacio representado, a través de una abstracción gráfica codificada que permite su comprensión. Esta función esquemática ha sido una constante de la representación gráfica territorial desde sus inicios. Un ejemplo temprano de su uso sería la Tabula Peutingeriana, que representa esquemáticamente la estructura viaria del Imperio Romano Tardío. La tabula es

un mapa diagramático que muestra de forma abstracta la red de carreteras del Imperio Romano; no representa el espacio, sino su uso, su función. Simboliza la relación direccional de las ciudades en función de su situación en la red de caminos, independientemente de distancias y situación geográfica [2]. [Figura 2]

La capacidad de las nuevas herramientas digitales para posibilitar una representación cada vez más precisa de la realidad está ya plenamente aceptada. Los nuevos medios de captación de datos topográficos es tal que cada toma digital nos permite definir información veraz de cada punto del territorio, con un nivel de exactitud que la cartografía tradicional no podía siquiera imaginar. Por el contrario, la capacidad de los nuevos medios digitales de generar diagramas interpretativos de dicha información, concebidos a la manera de la Tabula Peutingeriana —es decir, sustentados sobre la realidad física, pero vinculando información de carácter conceptual y procesual— ha merecido menos atención. Un proceso exponencialmente propiciado por unos medios digitales que han irrumpido en el ámbito de la cartografía para transformar radicalmente las convenciones previas y dar lugar a nuevos usos y representaciones del espacio —tanto urbano como territorial— y de la información a él asociada.

## DIAGRAMA Y ARQUITECTURA DIGITAL

La incidencia de lo digital en el ámbito de la cartografía no se ha limitado a mejorar sus fundamentos tradicionales, potenciado nuevas formas de representación de una veracidad extrema en la que los modernos medios de toma de datos físicos del territorio permiten una gran exactitud de la representación cartográfica, sino que ha incidido en otras transformaciones más profundas que inciden en dos ámbitos que nos parecen de especial interés: la vinculación instrumental directa entre el diagrama y los programas de modelización formal, y la aparición de nuevas herramientas digitales interactivas que permiten la definición de variables inmatrimales de la forma urbana.

En el primer caso nos encontramos con tratamien-

tos gráficos digitales que emplean el diagrama como base de los procesos proyectuales de ámbito urbano y territorial. Son diagramas que tienen una componente eminentemente formal, pero que frecuentemente tienen su origen en la definición de variables funcionales que se formalizan a través de operaciones gráficas digitales, tales como la aplicación de estrategias paramétricas de generación y manipulación, desarrolladas a partir de esquemas iniciales de variables funcionales y formales que han de cumplirse en el proyecto. El diagrama no representaría la forma, ya que, en tanto que representación gráfica conceptual, carece de ella; sin embargo, la condiciona, la condiciona como huella genética de todo el proceso, direccionándolo para el cumplimiento de una serie de objetivos previos que han de cumplirse para que el proyecto cumpla satisfactoriamente sus premisas formales y funcionales iniciales. Su función es establecer las relaciones que deben producirse entre los diferentes elementos que la componen, posibilitando ser empleado como principio formativo abstracto que, aplicado a las sucesivas transiciones formales de los procesos del diseño generativo, garantiza que las relaciones internas se preserven en las sucesivas transformaciones que van definiendo el resultado final. Lo que nos interesa en este punto es que este diagrama generador, genético, puede ser obtenido, en el caso del diseño urbano y territorial, del análisis de los procesos habitacionales y de los flujos circulatorios reales del entorno sobre el que se actúa, vinculando los procesos de ideación arquitectónica de gran escala con los diagramas digitales que alimentan a una parte de las cartografías urbanas y territoriales desarrolladas sobre bases digitales. Si este diagrama genético se basa en el análisis digital de los procesos que se espera que tengan lugar en la ciudad y en el territorio, las nuevas cartografías digitales, que analizaremos más adelante, utilizan herramientas análogas para interpretar las actividades que realmente tienen lugar en ellos. Ambos se basan en herramientas digitales similares, lo que nos permite comprender la profundidad de los cambios globales que se han producido en los últimos 20 años, después de la llegada de la representación gráfica digital en la arquitectura y el urbanismo.

Los ejemplos de este uso proyectual del diagrama son numerosos en la arquitectura contemporánea, pero el empleo de esquemas diagramáticos como base de las operaciones de generación formal de

planteamientos de gran escala es común en los Masterplan de autores como Peter Eisenman o Zaha Hadid. El proyecto de Peter Eisenman para la Cidade da Cultura de Santiago de Compostela refleja perfectamente la íntima relación existente entre los esquemas abstractos, que se encuentran en el inicio del proceso de ideación, y la manipulación gráfica digital que sustenta la posterior formalización [Figura 3]. El diagrama es el sustento conceptual a partir del cual se inicia el proceso de manipulación de las variables formales y funcionales que generan la forma. Actúa como representación abstracta de los usos, variables y funciones del territorio en su conjunto, llegando a constituir representaciones analíticas que, superpuestas y sustentadas sobre la planimetría global, representan los usos inmateriales que subyacen en el territorio.

Otro ejemplo de este tipo de estrategias, en las que el diagrama juega un papel fundamental a nivel de representación abstracta del ámbito territorial, sería el proyecto London 2066, de la arquitecta Zaha Hadid [Figura 4]. Se trata, según sus propias palabras, de una representación a gran escala que propone una transformación radical del entorno metropolitano de Londres. Una imagen abstracta que no se limita a representar la forma física propuesta para el ámbito de la ciudad y su entorno, sino que en su abstracción gráfica representa usos, flujos circulatorios e incluso rutas aéreas. Un esquema que, superpuesto a la forma reconocible de la ciudad, representa los aspectos inmateriales que la arquitecta propone para constituirse en principios abstractos organizadores de la propuesta.

Tal vez no quepa hablar en ambos casos de representaciones cartográficas propiamente dichas, en tanto que más que representar la realidad, constituyen proposiciones proyectuales que la trascienden; pero nos interesan en tanto que ambas, al igual que ocurre en las planimetrías proyectuales de numerosos arquitectos contemporáneos, reflejan una nueva manera de representar los aspectos inmateriales de los espacios y los procesos que en ellos tienen lugar; una metodología basada en la abstracción y apoyada en la potencialidad de las nuevas herramientas digitales. Una estrategia

que propone una nueva manera de visualizar la realidad que trasciende la materialidad directa y que sobre una base planimétrica reconocible superpone esquemas abstractos—bidimensionales o tridimensional, y tanto de carácter estático como dinámico— que trascienden la forma y aportan una nueva manera de ver la realidad.

## LAS NUEVAS CARTOGRAFÍAS DIGITALES Y LA REPRESENTACIÓN DE LA INMATERIALIDAD.

Este tipo de estrategias tiene su correspondencia en el ámbito de la aparición de un nuevo tipo de cartografías digitales que se sustentan en estrategias novedosas, tanto en lo relativo a la captación y gestión de la información como en la creación de nuevas metodologías gráficas para representarla. Se trata de representaciones gráficas destinadas no tanto a mostrar la realidad física de la ciudad y el territorio como a definir representaciones de los usos y funciones que se desarrollan en los mismos, trascendiendo la representación formal para generar imágenes visuales que producen visiones novedosas de los procesos humanos y su impacto en el territorio. Se trata de representaciones obtenidas a partir de la gestión de cantidades masivas de datos, generándose interpretaciones de los mismos en las que la forma urbana y territorial deja de ser exclusivamente forma arquitectónica para constituirse en representaciones dinámicas de la función. Es una estrategia que trasciende la representación de arquitecturas y espacios que constituía la base de la cartografía tradicional, para representar los procesos que se desarrollan en los mismos, aplicándolas a escalas muy diversas, que oscilan entre lo urbano y lo territorial.

Son múltiples los proyectos de representaciones planimétricas derivadas de este tipo de estrategias digitales, de los cuales puede servir de referencia el proyecto Senseable City Lab del MIT (Massachusetts Institute of Technology) para profundizar en el potencial y los límites de este tipo de estrategias. El proyecto impulsado por el MIT propone la generación de capas y redes de información digital para el estudio del entorno construido [3]. Desde una perspectiva pluridisciplinar, aglutina proyectos tanto de equipos de investiga-



ción de arquitectos, diseñadores, planificadores, ingenieros, físicos, biólogos y científicos sociales, como la participación directa de instituciones, empresas y organismos oficiales, para implementar herramientas digitales que analicen aspectos del entorno construido tan dispares como los flujos circulatorios, las densidades de uso de los espacios públicos, la concentración de la actividad digital, la evolución de las equipamientos vegetales de los espacios urbanos, la densidad y temporalidad de las actividades comerciales y de los flujos económicos, etc. Un proceso de análisis en el que frecuentemente se recurre al carácter participativo de los residentes a través de las redes sociales o al empleo de los datos que generan en su actividad diaria, lo que produce representaciones gráficas novedosas de las acciones desarrolladas en el territorio habitado, tanto estáticas como dinámicas, que constituyen nuevas maneras de representarlo; es decir, un nuevo tipo de cartografías digitales que constituyen una nueva manera de comprender y representar el entorno.

Con el objetivo de generar representaciones en tiempo real de los procesos que acontecen en el ámbito analizado se recurren a procesos de gestión propios de lo que se ha dado en llamar Big Data, gestionando ingentes cantidades de datos procedentes de los instrumentos electrónicos que nos acompañan continuamente en nuestras actividades diarias, siendo el carácter geolocalizado de cada dato individual lo que permite generar representaciones que proponen visualizaciones de los procesos globales. Solo en el caso del Senseable City Lab hay referenciados más de un centenar de proyectos que abordan temáticas y ámbitos muy diversos, si bien un análisis de los mismos, desarrollado atendiendo al origen de los datos que constituyen la base de la representación, nos permite reducirlos a cuatro grupos conceptualmente similares: proyectos basados en la gestión de cantidades masivas de datos extraídos de sensores que monitorizan la actividad; los basados en la gestión de la geolocalización de smartphones y dispositivos móviles; el análisis de los flujos de las transacciones financieras digitales; y las huellas digitales de las redes sociales. Cuatro estrategias que nos permiten representar gráficamente cuatro formas de uso del espacio y el territorio.

El primer grupo de proyectos se basa en el empleo de datos obtenidos a partir de sensores estáticos o dinámicos. A partir del análisis de los datos recopilados por cámaras urbanas y de control de la circulación, algoritmos de reconocimiento de patrones establecidos para la caracterización de los objetos recogidos en las mismas, análisis de sensores destinados a contabilizar y caracterizar las circulaciones, los flujos peatonales y los parámetros climáticos, de polución, de temperatura, etc., es posible desarrollar representaciones temáticas que permiten visualizar la actividad que caracteriza la ciudad y el territorio, generando representaciones de aspectos funcionales inmateriales que, o bien se sustentan sobre bases cartográficas territoriales, o bien devienen en diagramas abstractos que constituyen una representación alternativa a la imagen tradicional del territorio material.

A esta estrategia de captación y proceso de datos responden proyectos como Treepedia, Cityways y Trains of Data. El proyecto Treepedia centra su atención en el análisis de la cantidad y calidad de la cobertura vegetal utilizando técnicas de visión artificial aplicadas a las imágenes de Google Street View [Figura 5]. Se basa en la aplicación de un algoritmo que analiza automáticamente la obstrucción de las copas de los árboles, generando una imagen que representa la percepción humana del medio ambiente desde el nivel de la calle, evaluando los balances verdes de los espacios urbanos habitados y, consecuentemente, la habitabilidad de los mismos. El proyecto Cityways. Unveiling Recreational Movement in Urban Areas cuantifica y representa los recorridos que ejecutan los habitantes de San Francisco y Boston a través de la monitorización de las aplicaciones de los teléfonos móviles que utilizan los residentes en su tiempo libre [Figura 6]. El resultado es una imagen que representa los factores que influyen en la actividad humana al aire libre, como el clima, la morfología urbana, la topografía, el tráfico y la presencia de áreas verdes, etc., durante los doce meses del año, reflejando las variaciones de dicha actividad respecto a los factores climáticos y ambientales de cada época.

Finalmente, Trains Of Data - Isochronic France es

un proyecto conjunto del MIT y de la división SNCF de investigación e innovación para investigar nuevas formas de conocer cómo las personas acceden a diferentes partes de Francia utilizando el sistema ferroviario de alta velocidad del país [Figura 7]. Aprovechando la amplia red de sensores que controlan la red ferroviaria francesa, es posible hacer una representación visual de los tiempos empleados en los recorridos a través de todo el territorio de Francia, creando animaciones isocronicas que representan el territorio francés, si bien tomando como unidad de medida el tiempo de recorrido en horas, en lugar de las distancias en kilómetros. El resultado es una imagen totalmente diferente a la imagen geográfica a la que estamos acostumbrados, resultado de una sustitución de la unidad de medida que da lugar a la representación.

La estrategia de recopilación y gestión de datos que caracteriza el segundo bloque de proyectos seleccionados se basa en la monitorización de la ubicación y el uso de los teléfonos móviles para representar la actividad humana en los espacios urbanos. El objetivo de proyectos como Real Time Rome y Network & Society, es monitorizar y representar el empleo de los espacios a través de la geolocalización de las personas que los habitan, creando imágenes que varían en tiempo real conforme los flujos de las personas y el carácter de las actividades varían, al tiempo que posibilitan la interacción casi inmediata entre los habitantes y los datos recopilados, lo que permite orientar las actividades en cada momento. Los objetivos de este tipo de estrategias son variados, y van desde la necesidad de recopilar e interpretar la información que permita prever las necesidades funcionales de los espacios, destinada a los gestores urbanos y territoriales, hasta crear redes que orienten a los propios usuarios, al dotarlos de información en tiempo real de todo aquello que acontece en su entorno inmediato. El proyecto Real Time Rome, continuación del proyecto Wikicity Rome, tiene por objetivo directo los usuarios del mismo [Figura 8]. Presentado en la Bienal de Venecia de 2006, el proyecto se propone transmitir la información del funcionamiento de la ciudad a los usuarios, para posibilitar la toma individual de decisiones en tiempo real. Monitorizando los desplazamientos de los teléfonos móviles se generan imágenes

dinámicas que permiten visualizar los rastros de redes de información y comunicación, patrones de movimiento de personas y sistemas de transporte, el uso espacial y social de calles y vecindarios, etc. Estos mapas en tiempo real ayudan a comprender cómo se usan los espacios urbanos a lo largo del día, la correlación entre medios de transporte y las concentraciones de potenciales usuarios; cómo se distribuyen los bienes y servicios en la ciudad; o cómo diferentes grupos sociales, como turistas y residentes, habitan la ciudad. Con las visualizaciones resultantes, proyectados en tiempo real en pantallas situadas en espacios urbanos de la ciudad de Roma, los usuarios pueden interpretar y reaccionar ante el entorno urbano cambiante.

Más complejo y variado se presenta el segundo proyecto analizado dentro de este grupo, el denominado Network & Society. Asentado sobre una estrategia similar, aborda un análisis más amplio que abarca una serie variada de ámbitos, lo que deriva en representaciones cartográficas diversas que utilizan varias estrategias de representación. Así, en el apartado Borderline [Figura 9], se emplean las interacciones entre teléfonos móviles para trazar un mapa de Gran Bretaña, redibujado para representar las áreas de mayor interacción y las intensidades de conexión interpersonal, en detrimento de las fronteras físicas y políticas del territorio; en el apartado denominado Urban Activity Patterns, se generan mapas de predicción de la ubicación individual a partir de los comportamientos previos, tanto individuales como colectivos; en Urban Visualization Tools [Figura 10] se propone un diagrama digital que representa las interacciones de multitudes en la escena urbana; en Urban Transportation se analiza la accesibilidad a Roma en función de las trazas GPS de los autobuses de la red de comunicaciones; en Urban Gravity se analizan las comunicaciones de 2,5 millones de clientes de las redes de telefonía móviles para generar representaciones a escala territorial de las interacciones entre usuarios a dos niveles, el microscópico en tanto que atañe al nivel individual, y el macroscópico, que representa las interrelaciones entre 571 ciudades de Bélgica; y finalmente Urban Traces [Figura 11] permite visualizar la actividad urbana en tiempo real a partir de la monitorización del sistema de transporte, incluyendo

vehículos y peatones, en una estrategia que recuerda la anteriormente descrita para el proyecto Real Time Rome. Network & Society nos permite tener una visión panorámica de la amplia variedad de estrategias de análisis que pueden ser desarrolladas mediante el empleo de técnicas digitales de análisis y visualización aplicadas a los procesos de monitorización de los teléfonos móviles, generando representaciones digitales completamente novedosas y diversas entre sí, así como la posibilidad de interacción entre la cartografía y el usuario en tiempo real para facilitar el uso de la ciudad y el territorio a partir de la información que aporta en cada momento las representaciones cartográficas descritas.

El tercer bloque de proyectos propone una lectura visual de los flujos de datos electrónicos relativos a las transacciones comerciales, para dar una imagen de los procesos económicos que tienen lugar en el territorio en su conjunto. En este bloque se situaría el proyecto Spring Spree, que visualiza de forma dinámica los patrones de compra desarrollados en el conjunto de España durante la Semana Santa de 2011 a partir de la base de datos del BBVA, una de las grandes corporaciones financieras del país [Figura 12]. La visualización resultante es un diagrama dinámico superpuesto a la estructura geográfica, que refleja tanto la intensidad de las pautas económicas de los consumidores, como su concentración geográfica o la distribución de las diferentes transacciones a lo largo de la semana o durante el día y la noche.

Hay un último bloque de representaciones digitales basadas en estrategias de recopilación de datos obtenidos de las redes sociales. La información representada en este tipo de mapas digitales se basa en la recopilación de información directamente aportada por los usuarios a través de internet, bien de forma voluntaria y específica para el proyecto concreto, lo que se constituye en una estrategia colaborativa, bien de forma automatizada sin participación expresa de los usuarios de dichas redes. A la primera tipología pertenecen las elaboradas en los proyectos City Nature Challenge [Figura 13] y Boston 3-1-1 Incident Reports [Figura 14]. El primero se constituye como una iniciativa colaborativa en la que los residentes en di-

versas ciudades compiten para documentar especies naturales del ámbito metropolitano —plantas, animales y hongos—, mediante el empleo de una aplicación específica denominada iNaturalist. En 2019 se ha realizado simultáneamente en más de 150 ciudades repartidas por todo el mundo, dando como resultado cartografías temáticas en las que se recogen y clasifican automáticamente las aportaciones de los participantes. Por su parte Boston 3-1-1 Incident Reports, es también una iniciativa colaborativa que propone crear un mapa de las incidencias urbanas reportadas a partir de llamadas de los residentes, creando un mapa que las refleja, de forma que los residentes participan en el proceso de selección de elementos que deben ser reparados por parte de la administración.

Respecto a la creación de cartografías generadas digitalmente a partir del análisis de los datos subidos por los usuarios a las redes sociales, resulta especialmente interesante el proyecto See something or say something, que construye visualizaciones territoriales a partir del mapeado de las fotografías subidas a internet por los usuarios de Flickr y de Twitter [Figura 15]. La geolocalización de las imágenes constituye una nueva visión cartográfica que refleja un mapa de desarrollo digital en los distintos continentes que es, en último término, un mapa de desarrollo global. Una imagen construida automáticamente a partir de la gestión de millones de datos a través de las modernas estrategias de Big Data, que puede incorporar la variable temporal para visualizar cómo varía el nivel de desarrollo digital con el tiempo, y que evidencia las posibilidades de los nuevos medios digitales de construir nuevas imágenes que son, en último término, imágenes cartográficas.

## CONCLUSIONES

El conjunto de propuestas anteriormente descritas evidencia la irrupción de una nueva manera de representar el territorio. Una forma de representación basada en estrategias digitales que inciden en dos aspectos fundamentales de la representación cartográfica que hemos enunciado al inicio de este texto: Las estrategias de identificación, recogida y manipulación de datos que quedan reflejados en la cartografía, y las estrategias gráficas de repre-



sentación de los mismos. Los mecanismos de gestión de datos propios del Big Data han permitido incorporar a las representaciones cartográficas cantidades masivas de información anteriormente imposibles de gestionar. Las estrategias digitales actuales permiten construir las propias cartografías a partir de la gestión digital automática de las bases de datos, generando representaciones temáticas a partir de cualquier variable que pueda ser recogida y manipulada informáticamente, trascendiendo los límites anteriores de la ciencia cartográfica. Este tipo de estrategias nos permiten crear numerosas visualizaciones alternativas de una misma realidad, tal como se evidencia en las diversas imágenes de la ciudad de Boston [Figura 16], en las que a la representación cartográfica tradicional se le añaden representaciones alternativas que reflejan, tanto realidades físicas obtenidas a partir de estrategias digitales de recogida de información, como representaciones de aspectos inmateriales tan diversos como los flujos circulatorios, la densidad de ocupación de los espacios a lo largo del tiempo, o la actividad de los usuarios de cada espacio en las redes sociales. En paralelo, el advenimiento de las modernas técnicas digitales informáticas de manipulación de imágenes permiten proponer nuevas estrategias de visualización de la información; estrategias que no quedan circunscritas en los estrechos límites de representación de la realidad física, y que desembocan frecuentemente en representaciones diagramáticas que pueden estar vinculadas, o no, a la representación del espacio físico de la ciudad y del territorio, y que pueden incorporar la variable temporal para representar la variación en el tiempo de la información incorporada a la cartografía. Nuevas formas de representar las funciones y actividades desarrolladas sobre espacio físico que permiten la representación de lo inmaterial, de la huella del hombre sobre el territorio.

NOTAS

[1] Joan Martines fue nombrado cosmógrafo del monarca Felipe II el año 1591. Sus portulanos y atlas estaban destinados a los navegantes de la Carrera de Indias. La Biblioteca Nacional de España conserva dos atlas portulanos de 1570 y 1587.

[2] La Tabula Peutingeriana se conserva en La Biblioteca Nacional de Austria, en Viena. El mapa original fue realizado en el siglo IV, siendo la copia más antigua obra de un monje de Colmar del siglo XIII. Se trata de un rollo de pergamino de 0,34 m de altura y 6,75 m. de longitud dividida en 12 segmentos, del que se ha extraviado el primero, que contenía Hispania y las Islas Británicas.

[3] Carlo Ratti, Director de MIT SENSEable Media Lab, describe los objetivos del laboratorio en los siguientes términos: “La investigación del SENSEable City Laboratory se centra en estudiar y predecir cómo la tecnología digital está cambiando la forma en que describimos, diseñamos y ocupamos las ciudades. Los elementos computacionales interconectados están saturando cada vez más el entorno construido (ya sean dispositivos móviles a pequeña escala o microprocesadores de infraestructura a gran escala). Esta nueva condición nos permite diseñar tecnología que podría funcionar como una interfaz entre las personas y la ciudad. Los proyectos llevados a cabo en el laboratorio tienen como objetivo ayudarnos a aprender cómo se usan las ciudades y, así, hacer un mejor uso de sus recursos y mejorar su diseño”. Recuperado el 26 de junio de 2019 de <https://dusp.mit.edu/uis/project/senseable-city-lab>

BIBLIOGRAFÍA

Boorstin, D. J. (1997). *Los descubridores I. El tiempo y la geografía*. Grijalbo Mondadori: Barcelona.

Dalché, P. G. (2003). La trasmissione Medievale e Rinascimentale della Peutingers Tabula. In *Prontiera F. Peutingers Tabula: Le Antiche vie del mondo* (p. 43-53), Florencia: Olschki.

Eisenman, P. (2000). Diagramas. Un escenario original de escritura. *Pasajes*, 15, 24-28.

Li, X., & Ratti, C. (2018). Mapping the spatial distribution of shade provision of street trees in Boston using Google Street View panoramas. *Urban Forestry & Urban Greening*, 31, 109-119. doi:10.1016/j.ufug.2018.02.013

Li, X., Santi, P., Courtney, T. K., Verma, S. K., & Ratti, C. (2018). Investigating the association between streetscapes and human walking activities using Google Street View and human trajectory data. *Transactions in GIS*, 22(4), 1029-1044. doi: doi.org/10.1111/tgis.12472

Llopis, J. (2018). *Dibujo y arquitectura en la era digital*. Valencia: Editorial Politécnica

Nagel, T., Maitan, M., Duval, E., Moere, A. V., Klerkx, J., Kloeckl, K., & Ratti, C. (2014, May). Touching transport—a case study on visualizing metropolitan public transit on interactive tabletops. In *Proceedings of the 2014 International Working Conference on Advanced Visual Interfaces* (pp. 281-288). ACM.

Offenhuber, D., & Ratti, C. (2014). *Decoding the city: Urbanism in the age of big data*. Birkhäuser.  
Ratti, C., & Claudel, M. (2016). *The city of tomorrow: Sensors, networks, hackers, and the future of ur-*

*ban life*. Yale University Press.

Sagarra, O., Szell, M., Santi, P., Diaz-Guilera, A., & Ratti, C. (2015). Supersampling and network reconstruction of urban mobility. *PLoS One*, 10 (8), doi:10.1371/journal.pone.0134508

Seiferling, I., Naik, N., Ratti, C., Proulx, R. (2017). Green streets – Quantifying and mapping urban trees with street-level imagery and computer vision. *Landscape and Urban Planning* 165: 93–101. doi: 10.1016/j.landurbplan.2017.05.010

Senseable City Lab: Massachusetts Institute of Technology. Retrieved May 19, 2019, from <http://senseable.mit.edu/>

Offenhuber, D. (2014). Infrastructure legibility—a comparative analysis of open311-based citizen feedback systems. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 8(1), 93-112. doi:10.1093/cjres/rsu001

Ratti, C., Sobolevsky, S., Calabrese, F., Andris, C., Reades, J., Martino, M. & Strogatz, S. H. (2010). Redrawing the map of Great Britain from a network of human interactions. *PLoS one*, 5(12). doi: 10.1371/journal.pone.0014248

Sobolevsky, S., Szell, M., Campari, R., Couronné, T., Smoreda, Z., & Ratti, C. (2013). Delineating geographical regions with networks of human interactions in an extensive set of countries. *PLoS one*, 8(12). doi: 10.1371/journal.pone.0081707

Sobolevsky, S., Sitko, I., Des Combes, R. T., Hawelka, B., Arias, J. M., & Ratti, C. (2016). Cities through the prism of people's spending behavior. *PLoS one*, 11(2). doi:10.1371/journal.pone.0146291

Van Horn, G., Mac Aodha, O., Song, Y., Cui, Y., Sun, C., Shepard, A., ... & Belongie, S. (2018). The inaturalist species classification and detection dataset. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 8769-8778).