INFORME

MADRID: UN ESCENARIO URBANO PARA LA INNOVACIÓN

Noviembre 2022

Índice

1. El primer internet 3

2 Un mundo en red 8

3 Desafíos 13

4 Oportunidades 16

5 La ciudad como Sandbox 19

1. Smart Cities 20
2. Smart energy 24
3. Movilidad inteligente 29
4. Iluminación inteligente y calidad del aire 31
5. Tratamiento de aguas y residuos 33
6. Gobernanza 35
7. Seguridad ciudadana 39

6 Conclusiones 42

1. El primer internet

Durante casi un millón de años, los ancestros del ser humano vivieron en minúsculas comunidades separados a lo largo y ancho del mundo. Dicha fragmentación no fue óbice para que, a medida que la humanidad evolucionaba e incrementaba la complejidad fuesen surgiendo nuevos hitos del desarrollo humano.

La fragmentación impuso la necesidad de crear vías para el transporte, existiendo primitivas redes de caminos, pero también modos de transporte como botes, aprovechando los ríos para este fin. El ser humano abandonó las cuevas, construyó las primeras edificaciones que servían como hogar utilizando, piedra, barro, madera.

En estas primitivas agrupaciones humanas surgieron, a pesar de la fragmentación, las primeras expresiones culturales, es decir, los primeros símbolos de identidad social. Con el tiempo, lenguajes, arte, música, bailes, etc. Se convirtieron en símbolos de cada comunidad, representando la evolución de cada una de ellas e impulsando el progreso de la civilización. De la misma forma, los rasgos asociados a la identidad cultural fueron manifestándose en aspectos tales como la moda, los tatuajes, los peinados, etc.

Cada una de estas expresiones (tanto social como individual) fue responsable de que la humanidad llegase a desarrollar todas aquellas cosas esenciales para la vida. Ropajes en múltiples modalidades, la agricultura, la domesticación de animales y la ganadería; herramientas para cultivar la tierra, vajillas, armas, etc. Incluso hace 11.000 años, la civilización Sumeria, en la antigua Mesopotamia, inventó la primera aproximación a la cerveza. Podría argumentarse que el ser humano tenía todo lo básico para vivir.

Un viaje en el tiempo de unos 11.000 años lleva a detener esta reflexión en el 9 de diciembre de 1968. Ese día Douglas Engelbart y William English[1] hicieron una demostración en San Francisco de un conjunto de tecnologías cuya ventana comercial no tuvo lugar hasta 1984. En dicho evento, denominado hoy como “La madre de todas las demos[2]” se introdujeron conceptos como el ratón, internet, el software colaborativo, aspectos hoy normales para todos, pero que en 1968 parecían ciencia ficción.

---

[1] Salamanca, C. (2009). The Mother of All Demos. UC Irvine: Digital Arts and Culture 2009. <https://escholarship.org/uc/item/91v563kh>

[2] < https://www.youtube.com/watch?v=B6rKUf9DWRI>

Engelbart mencionaba en su presentación que lo que estaba presentando "…es un sistema aumentado provisto por un sistema computacional. Y, más allá de eso, esperamos que se convierta en una serie de principios de diseño para el desarrollo de sistemas aumentados. Y esto, esperamos que se convierta en algo transferible".

El calado de esta afirmación va mucho más allá de lo que a priori pueda parecer, para Engelbart la presentación no iba de introducir un conjunto de herramientas, sino una forma de crear distinta, el software y hardware se combinaban para impulsar una nueva forma crear y trabajar[3].

Regresando a nuestros días, las tecnologías que Engelbart mencionaba en su demostración, hoy se dan por sentadas, y se encuentran tan entrelazadas con la realidad de las personas que, probablemente, su ausencia sería algo similar a un "cataclismo". Si embargo, su aparición es un proceso mucho más complejo. En palabras de Greg Satell[4], la innovación nunca es un evento único. Muchas de estas tecnologías tienen su raíz en los años 20 del siglo pasado y en particular en las escaramuzas intelectuales entre alguno de los grandes titanes del siglo XX como Einstein ("Dios no juega a los dados con el universo") y Bohr ("Einstein, deja de decirle a Dios qué hacer"). Dichas dinámicas dieron lugar a dos visiones del universo y la física, el determinismo de Einstein versus el mundo de probabilidades cuánticas de Bohr. Sobre ellos, Schröedinger o Heisenberg construyeron nuevos desarrollos que dieron forma al siglo XX y buena parte de la tecnología actual. Cada nueva capa tecnológica y de innovación, supone crear nuevas formas de gestionar la complejidad y, por tanto, un salto de escala en la capacidad de progreso humano.

Al igual que la tecnología digital ha multiplicado la capacidad de escala humana, hace aproximadamente 6.000 años se produjo una innovación que, aunque pueda parecer lejana, tiene mucho más en común de lo que pueda parecer con internet. Hace 6.000 años nació Uruk, una de las primeras ciudades en la historia de la humanidad.

---

[3] Finley, K. (2018). 50 Years Later, We Still Don't Grasp the Mother of All Demos. Wired < https://www.wired.com/story/50-years-later-we-still-dont-grasp-the-mother-of-all-demos/>

[4] Satell, G. (2017). Mapping Innovation. A playbook for navigating a disruptive age. Nueva York: McGraw Hill.

De Uruk a Damasco, de Jericó a Xi'an, de Roma a Tenochtitlán, de Burgos a Cuzco y muchas más, las ciudades nacen con un patrón universal que aún hoy tiene sentido. Cuando los conquistadores llegaron al imperio Azteca o al Inca, fueron capaces no sólo de identificar las ciudades existentes, sino también su patrón, lo que expresaban, su organización.

¿Por qué surgen las ciudades y por qué se argumenta su similitud con algo tan lejano como internet? La necesidad de escala es la clave. Al igual que internet, las ciudades supusieron un salto de escala significativo. El progreso se encuentra en la naturaleza humana y de la misma forma que las personas dejaron atrás las cavernas y se juntaron alrededor de los primeros poblados, escalar en términos de progreso requería un salto igualmente significativo. La emoción de la multitud, la excitación de nuevas invenciones, la creación de nuevo arte. La ciudad representó la cotidianeidad de algo excepcional pues la reunión de grandes cantidades de personas sólo tenía lugar de forma esporádica en eventos rituales.

Tal y como argumenta Koppl et al[5], la innovación puede enfocarse como un fenómeno que nace de la combinación de múltiples dimensiones tales como tecnología, recursos, restricciones e ideas, siendo estas últimas la semilla germinal. Es en la combinación de ideas donde radica, si se alcanza la masa crítica suficiente, la capacidad de entrar en tendencias exponenciales. Un ejemplo permite ilustrar esta capacidad de forma clarividente. Si una sociedad dispone de un stock de dos ideas, no resulta complicado deducir que sólo existe una combinación posible, siendo sencillo vislumbrar los caminos de futuro. Sin embargo, si una sociedad posee un stock de 266 ideas, las combinaciones resultantes se encuentran en un orden de magnitud muy diferente, siendo 10^80, que viene a ser una cifra equivalente al número de átomos estimado en el universo conocido.

Las ciudades, por tanto, en un mundo fragmentado, representaron un espacio de oportunidad, de emprendimiento, de creación, una nueva plataforma para dar respuesta a la complejidad que el entorno y la propia naturaleza humana demandaban. Navegar por las calles de una ciudad no deja de ser muy distinto a navegar por la web, sirviendo ambas como una capa de interacción y conexión entre las personas en el que encontrar oportunidades sociales, de

[5] Koppl, R. et al (2019). The Industrial Revolution as a combinatorial explosion. <http://www.abigaildevereaux.com/wp-content/uploads/2019/10/Industrial-Revolution-as-a-Combinatorial-Explosion.pdf>

trabajo, de ocio; facilitando la comunicación, la combinación, la creación, etc. Las ciudades representaron, en su momento, la chispa que puso a la humanidad en la posición de dar un nuevo salto de escala, de crecer, progresar y hacer cosas inolvidables.

2 Un mundo en red

En los últimos 300 años el mundo ha experimentado un crecimiento como nunca antes en su historia. Dicho crecimiento tiene que ver con una secuencia de revoluciones tecnológicas que han dotado a la sociedad de herramientas capaces de transformar la escala.

- La Revolución Industrial, cuyo inicio se data en 1771 con la puesta en marcha del molino de Arkwright en Cromford.
- La era del vapor y del ferrocarril, iniciada en 1829 con la primera prueba de la máquina de vapor Rocket para la línea de ferrocarril entre Liverpool y Manchester.
- La era del acero, la electricidad y la ingeniería, que nace en 1875 con la apertura de la primera planta siderúrgica en Pittsburgh.
- La era del petróleo, el automóvil y la producción en masa, que encuentra su origen en 1908 con la entrada en la cadena de producción del Modelo T de Ford.
- La era de la información y las telecomunicaciones, que nace alumbrada por el anuncio del microprocesador de Intel en 1971.

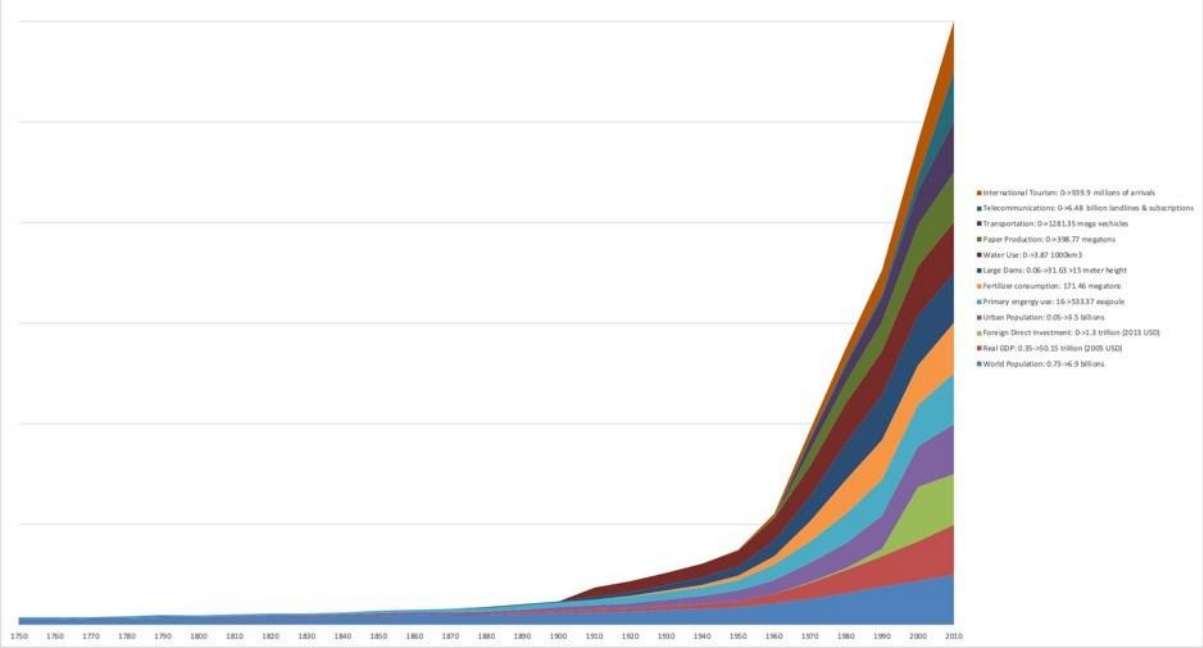

Ilustración 1. Tendencias socioeconómicas 1750 – 2010

Fuente: The trajectory of the Anthropocene: The Great Acceleration (2015).

Es en los inicios de estas revoluciones cuando las sociedades se adentran en lo que la ciencia de la complejidad denomina fase de transición. En ocasiones,

los cambios pueden parecer nimios, sin embargo, dichos cambios se convierten en factores multiplicadores de la complejidad y, por ende, habilitadores del cambio exponencial.

No resulta complicado ilustrar esta situación con un sencillo ejemplo. Ahora que la historia es ampliamente conocida y su gigantesco impacto ha sido medido hasta la saciedad, resulta sencillo predecir su impacto, pero, en su momento, la transformación del agua en vapor no era más que un cambio de estado que mantenía la misma formulación química. Pero es a raíz de esta transformación cuando se establecen los cimientos de una de las mayores transformaciones de la historia de la humanidad, no sólo en términos de impacto económico, sino también en términos de reorganización social.

Resulta sencillo observar cómo la humanidad ha pasado por distintas fases de transición y que, de forma unánime, dichas fases han conllevado incrementos en los niveles de complejidad. Dichos incrementos han supuesto nuevas necesidades de coordinación y, de esta forma, nuevos mecanismos han ido surgiendo con el tiempo. Desde la primera Revolución Industrial, las sociedades y las organizaciones se constituyeron alrededor de modelos jerárquicos de relación.

Sin embargo, hoy, los avances derivados de la revolución que comenzó en 1971 con un pequeño chip han supuesto un nuevo cambio de escala. Los modelos jerárquicos que han funcionado durante más de 300 años ya no son válidos, dado que no son capaces de gestionar la velocidad del cambio y la creciente complejidad.

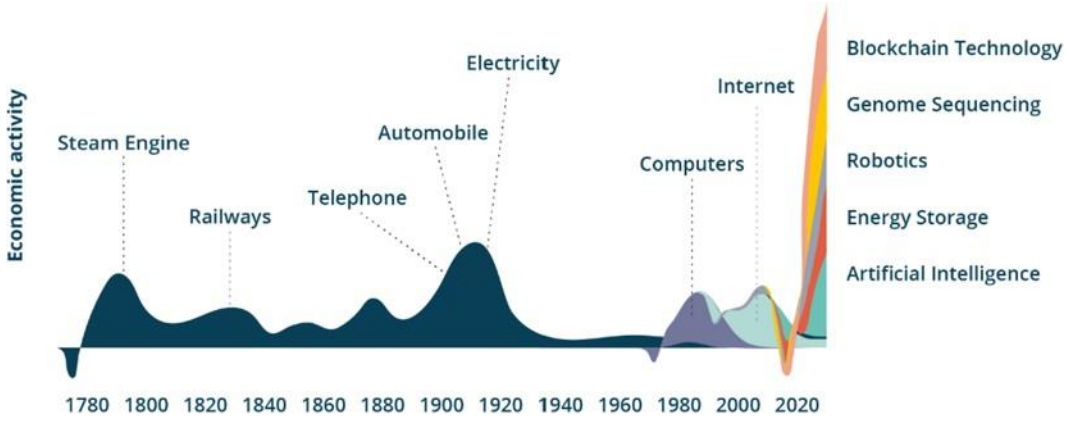

Ilustración 2. Línea de tiempo de la innovación.

Fuente: ARK Invest (2019).

En este sentido, el entorno demanda dejar atrás los modelos jerárquicos y evolucionar hacia modelos en red, modelos distribuidos que sean capaces de dar respuestas a las demandas actuales. Prepararse para el mundo en red supone prepararse para nuevas oportunidades en distintos niveles, incluyendo tanto empresas, como individuos y gobiernos.

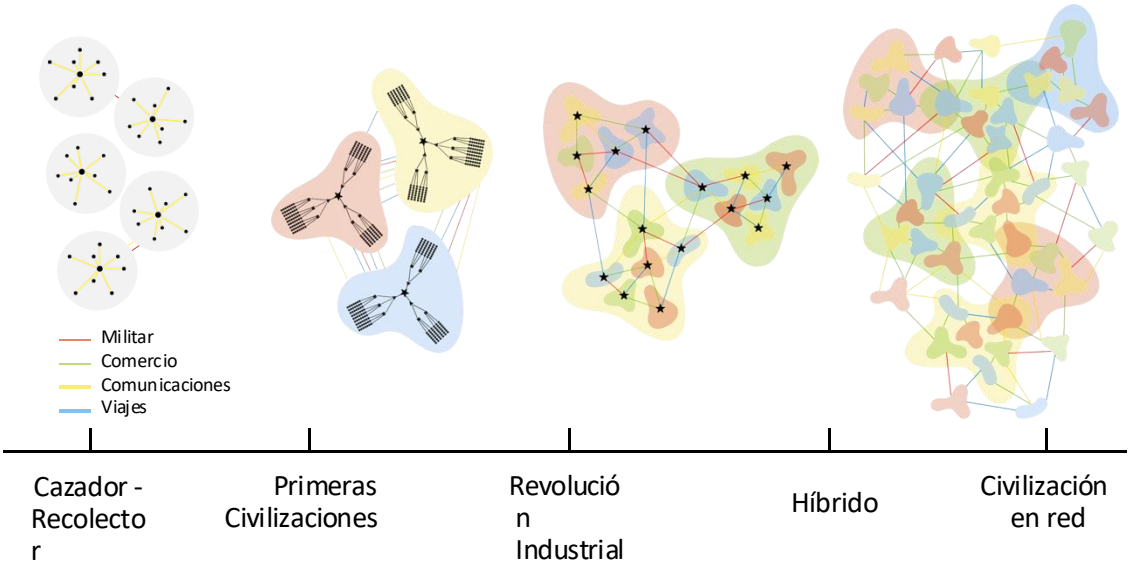

Ilustración 3. Evolución de la complejidad y los modelos de interacción.

Source: Complexity rising (2002).

Regresando al presente, el pasado 15 de noviembre el mundo superó los 8.000 millones de personas, y las ciudades son el hogar de, aproximadamente el 55% de la población mundial, siendo responsables de la creación de más del 80% del producto interior bruto (PIB) global. El crecimiento de las ciudades ha puesto de manifiesto el delicado equilibrio que poseen los sistemas complejos.

Hoy, las ciudades se enfrentan, precisamente, a la necesidad de dar respuesta a esa demanda de la complejidad y crear nuevos modelos de gestión, gobernanza, habitabilidad y movilidad, lo que pasa inevitablemente por la integración de la tecnología de una forma nunca considerada hasta el momento.

La complejidad en un entorno urbano pasa por realizar un cambio en la propia consideración de la ciudad, y entender ésta como un ecosistema funcional en constante evolución. Una de las características esenciales de todo sistema complejo es la emergencia, es decir, la capacidad de generar comportamientos colectivos a través de la autoorganización.

En este sentido, las ciudades pueden ser consideradas como un sistema complejo de distintos elementos conectados en red y que poseen, en última instancia, fines comunes. De las interacciones entre todos los miembros que forman parte del ecosistema nace la evolución dinámica del mismo, siendo la unidad básica de esta evolución las iniciativas individuales.

Las ciudades, por tanto, se adaptan al tiempo que evolucionan, no obstante, conviene destacar algunas particularidades de los sistemas urbanos como, por ejemplo, la simultaneidad de las interacciones, la inercia en el largo plazo de las decisiones de diseño (infraestructuras, características naturales) y el inevitable imperativo de adaptación a los cambios con el fin de evitar la pérdida de influencia y competitividad.

Por ello, las ciudades en su transición hacia el concepto de *Smart City*, necesitan realizar una aproximación desde un punto de vista sistémico y que permita que estas características, que las diferencian de otros sistemas, puedan ser potenciadas y aprovechadas. El riesgo es la pérdida de competitividad y la irrelevancia.

3 Desafíos

El ritmo y la magnitud de la urbanización plantea desafíos, como satisfacer la creciente demanda de viviendas asequibles, de sistemas de transporte bien conectados y de otros tipos de infraestructuras y servicios básicos, así como de empleo, en particular para los casi 1.000 millones de personas que viven por debajo del umbral de la pobreza en asentamientos urbanos informales para estar cerca de las oportunidades. Los conflictos van en aumento, lo que lleva a vivir en zonas urbanas al 60% de las personas desplazadas por la fuerza.

Una vez que se construye una ciudad, su estructura física y patrones de uso del suelo pueden permanecer durante generaciones, dando lugar a una expansión insostenible. La expansión del consumo de suelo urbano supera el crecimiento de la población hasta en un 50%, lo que se espera que en tres décadas añada al mundo 1,2 millones de km² de nueva superficie urbana. Esa expansión ejerce presión sobre la tierra y los recursos naturales, lo que produce resultados indeseables: las ciudades son responsables de dos tercios del consumo mundial de energía y de más del 70% de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Las ciudades desempeñan un papel cada vez más importante en la lucha contra el cambio climático porque, a medida que crecen, aumenta su exposición al clima y al riesgo de desastres. Casi 500 millones de residentes urbanos viven en zonas costeras, lo que los hace más vulnerables a las marejadas ciclónicas y al aumento del nivel del mar. En las 136 ciudades litorales más grandes del mundo viven 100 millones de personas —el 20% de la población— y 4,7 billones de dólares en activos se ven expuestos a las inundaciones costeras. Alrededor del 90% de la expansión urbana de los países en desarrollo se registra en áreas próximas a zonas de riesgo y se traduce en asentamientos informales y no planificados.

Las ciudades también están en la primera línea de la lucha contra las epidemias. La pandemia de COVID-19 está poniendo a prueba al máximo a ciudades de todo el mundo. Está afectando no solo a la salud pública, sino también a la economía y al tejido social. Además de generar esta triple crisis sanitaria, social y económica, el nuevo coronavirus está poniendo en evidencia hasta qué punto se han planificado y gestionado correctamente las ciudades y el impacto que ello tiene en la forma en que cada ciudad es capaz de funcionar —o no—, especialmente en tiempos de crisis.

La COVID-19 plantea un desafío enorme para las ciudades que se encuentran en primera línea de esa lucha, ya sean ricas o pobres. Las medidas adoptadas para controlar la propagación del virus están teniendo repercusiones de gran importancia en las ciudades en función de su estructura económica, de su grado de preparación para una crisis de este tipo —especialmente en lo que respecta al estado de sus sistemas de salud pública y de prestación de servicios— y del nivel de vulnerabilidad de la salud y los medios de

subsistencia de su población, todo ello dependiendo de la eficacia de sus sistemas de gestión urbana.

Pueden ser muchas las cualidades por las que, en tiempos normales, muchas ciudades se esfuerzan por competir y sobresalir a nivel mundial, como la habitabilidad, la competitividad y la sostenibilidad, pero en un día cualquiera, y especialmente en tiempos de crisis, lo que una ciudad debe hacer es funcionar bien para las personas que la habitan.

Construir ciudades que "funcionen" —que sean inclusivas, saludables, resilientes y sostenibles— requiere coordinación normativa intensiva y oportunidades de inversión. Los Gobiernos nacionales y locales desempeñan un rol importante: deben actuar ahora, configurar el desarrollo futuro de las ciudades y crear oportunidades para todas las personas (Banco Mundial, 2020[6]).

6

https://www.bancomundial.org/es/topic/urbandevelopment/overview#:~:text=Hoy%20en%20d%C3%ADa%2C%20alrededor%20del,10%20personas%20vivir%C3%A1n%20en%20ciudades.

4 Oportunidades

Oportunidades urbanas.

La vida en alta densidad, aunque es más ecológica que las alternativas suburbanas, tiene sus defectos ecológicos. La contaminación del aire, por ejemplo, influye en el peso al nacer y en la esperanza de vida. ¿Es posible desarrollar soluciones increíblemente atrevidas (desde farolas respetuosas con los murciélagos hasta lunas artificiales) que sitúen la ciudad como referente en materia de sostenibilidad?

Son las circunstancias globales las imponen nuevas demandas, nuevos requerimientos en los que la innovación es un papel esencial para explorar los procesos de urbanización y su capacidad de orientar su impacto hacia opciones más regenerativas.

En un mundo en red, el entendimiento de las ciudades como ecosistemas urbanos complejos es esencial para definir un marco estratificado de análisis en el que se tengan en cuenta todas las dimensiones.

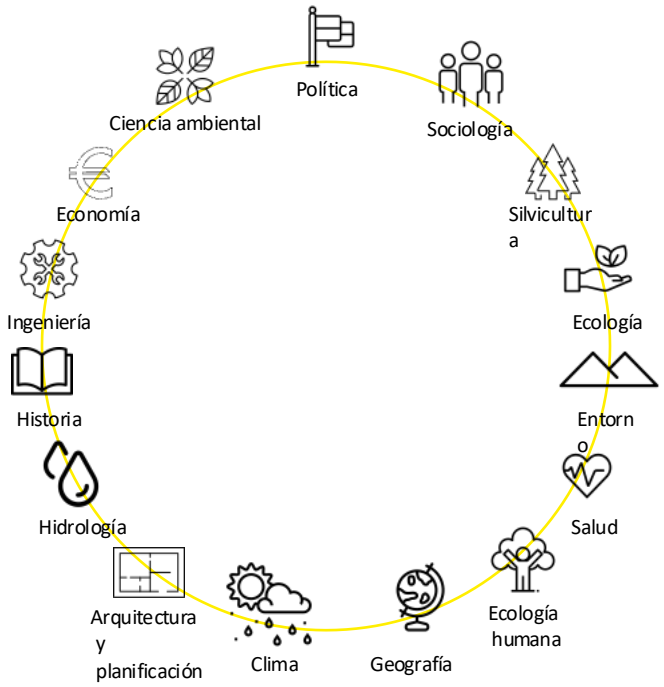

Ilustración 4. Estratos del ecosistema urbano. Fuente: LaaS (2019).

Por tanto, comprender el papel de la tecnología, así como las oportunidades que ofrecen nuevas aproximaciones para la reformulación de los entornos urbanos es el aspecto que define la principal fuerza definitoria del futuro de las ciudades. Se plantea en este contexto la ya tradicional dicotomía entre el

mundo físico y el mundo digital como la confluencia de dos realidades, cuya colisión alimenta un futuro prometedor.

De la interacción entre todos los estratos del ecosistema urbano, la redefinición de los mismos abre espacios listos para la innovación y la disrupción de un patrón de diseño y consideración de las ciudades que continúa, prácticamente, invariable desde hace décadas.

La idea principal es que, de las interacciones de los estratos del ecosistema urbano y la innovación, cuyo principal representante es el mundo digital, surgirán procesos de transformación que cambiarán la vida en la ciudad. Cómo se trabaja, se educa, se invierte el tiempo de ocio, etc. se verán profundamente afectados, al igual que los motivos por los que las personas deciden vivir en un sitio u otro.

No obstante, las nuevas ciudades establecerán normas radicales para la vida urbana, pero lo nuevo no siempre es mejor. Las zonas urbanas que se desarrollaron rápidamente en los últimos años tienen algunas de las mayores huellas de carbono per cápita (GGMCF, junio de 2018). ¿Qué se puede aprender de las ciudades antiguas?

5 La ciudad como Sandbox

La aproximación sistémica a la *Smart City*, anteriormente mencionada, requiere dotar a la ciudad de herramientas que faciliten del florecimiento de aquellas características que definían la ciudad como sistema de una forma orgánica.

En este sentido, la oportunidad de plantear la ciudad como un entorno en el que poder experimentar, de forma controlada, obviamente. En dicha experimentación se encuentra la clave de la emergencia, de romper con las inercias que condicionan durante demasiado tiempo la vida y limitan la capacidad de cambio y adaptación de los entornos urbanos.

Para ello, la consideración de las ciudades como, por ejemplo, una *sandbox* regulatoria, es un concepto esencial para el futuro de las ciudades inteligentes. De esta forma, será posible abrazar el cambio y, al mismo tiempo, mantener un control y una seguridad sobre las consecuencias implícitas.

Esta aproximación es, precisamente, la que facilitaría dotar a los patrones de las ciudades inteligentes de una mayor flexibilidad a la hora de facilitar los cambios en la relación entre las personas que habitan en ellas y su entorno.

5.1 Smart Cities

La experimentación e implementación de soluciones inteligentes es una práctica en auge en todo el mundo. Estas soluciones se basan en el uso de nuevas tecnologías y sus innovaciones asociadas y tienen por objetivo principal gestionar de manera más eficiente toda la actividad de la ciudad, destacando su aplicación en los servicios urbanos, fundamentales para el desarrollo de cualquier área poblacional.

No obstante, cualquier cambio en este ámbito requiere acometer numerosas reformas en el seno de ciudades con estructuras y distribuciones tradicionales, construidas para dar soluciones a problemas de su tiempo. En este sentido, la colaboración entre el sector público y privado es fundamental para un futuro no muy lejano.

En medio de este panorama, surgen múltiples iniciativas en diversos ámbitos y con diferentes aplicaciones. Madrid, es una de las ciudades con mayor dinamismo y busca convertirse en *Smart City* de referencia a nivel global. Algunas de las iniciativas más destacadas apuestan por soluciones de movilidad, logística, etc.

De acuerdo con Innovaspain[7], en 2020 se anunció que, en el marco del proyecto LEAD (coordinado por la Empresa Municipal de Transportes), se crearía un gemelo digital de red de logística urbana para apoyar la investigación y la toma de decisiones en operaciones de logística bajo demanda en un entorno urbano público-privado. En este proyecto europeo, en el que participan otras cinco ciudades (La Haya, Budapest, Lyon, Oslo y Oporto), Madrid se convierte en una de las ciudades piloto que acoge el desarrollo de una gran variedad de soluciones para operaciones logísticas compartidas, conectadas y de bajas emisiones, considerando cuatro impulsores de innovación: sostenibilidad y logística cero emisiones, economía compartida, avances tecnológicos y el paradigma emergente del Internet físico (PI).

Dentro del marco de movilidad de la ciudad, se han detallado algunas de sus principales áreas de acción. Una de ellas está en el Metro de Madrid, que contará con cuatro nuevos intercambiadores de última tecnología, ampliará tres líneas del suburbano y creará una nueva línea automatizada que se pondrá en marcha en Madrid Nuevo Norte, la joya de la corona del futuro "Madrid inteligente"[8].

Además, la región cuenta desde 2020 con el proyecto de autobús autónomo en la Universidad Autónoma de Madrid (UAM). Se trata del primer autobús autónomo de España con pasajeros en un recorrido abierto al tráfico y, tras la fase piloto, ha entrado en funcionamiento real para ofrecer a los estudiantes del campus de la UAM una alternativa de movilidad sostenible en sus desplazamientos internos, ya que el servicio se realiza en un vehículo autónomo 100% eléctrico[9].

La apuesta por las *Smart Cities* no se reduce sólo al transporte, sino que se puede ampliar a prácticamente todos los servicios urbanos. Desde la recogida de basuras, la gestión de la red de agua, el cableado de luz o el tráfico de la ciudad pueden beneficiarse de la monitorización de datos y de la velocidad con la que se obtienen estos.

---

[7] https://www.innovaspain.com/lead-europa-logisitca-urbana-movilidad-madrid/

[8] https://www.obrasurbanas.es/madrid-redisena-sus-servicios-urbanos-para-fortalecerse-como-smart-city-de-referencia-en-europa/

[9] https://www.alsa.es/movilidad/autobus-autonomo-uam

A continuación, se van a desglosar algunas de estas aplicaciones con ejemplos reales que se han visto en diferentes ciudades del mundo.

A pesar de que existen numerosos casos específicos, es difícil encontrar ciudades íntegramente inteligentes y, por lo general, los diferentes proyectos de *Smart Cities* integrados han sido propuestas auténticamente faraónicas en las que se han construido ciudades desde cero. Algunos de los ejemplos más significativos son Eko Atlantic City (Nigeria) y Konza City (Kenia), ambas africanas, Masdar City (Emiratos Árabes), NEOM y Oxagon (Arabia Saudita), Woven City (Japón), Telosa en Estados Unidos, Cancun Smart Forest en México, Nueva Santa Cruz (Bolivia), +Colonia (Uruguay) o Songdo en Corea del Sur. No obstante, muchas de estas ciudades apenas han crecido según los objetivos propuestos y algunas de ellas han tenido que reconvertir su propósito para garantizar su viabilidad.

Un proyecto menos ambicioso, pero con unas características más similares a las que podemos encontrar en la ciudad de Madrid, es el caso de Aspern[10]. Se trata de una ciudad levantada desde cero en 2007 en una superficie de 240 hectáreas que pertenecían a un antiguo aeródromo, a unos 14 kilómetros de Viena. Este proyecto surge como un *sandbox* en el marco del denominado "*Smart City Vienna*" que se llevó a cabo entre el gobierno austríaco y el reconocido arquitecto Johannes Tovatt, quien buscó, en aquel entonces, dar en la tecla para conseguir una ciudad que se ajuste a los parámetros ambientales y sociales necesarios para la época. Se trata de una de las ciudades donde se ponen en práctica diferentes soluciones de reciclaje, electromovilidad, eficiencia energética y apps.

Uno de los primeros objetivos de la ciudad fue descarbonizar la movilidad, por lo que se prohibió el ingreso de vehículos de combustión interna. El medio de movilidad más promovido es la bicicleta, siendo el medio de transporte de repartidores y el más utilizado por los ciudadanos para ir a trabajar.

Todos los edificios de Aspern fueron diseñados con paneles solares en sus techos para poder reducir el consumo energético y no depender de la generación eléctrica estatal. De esta manera, los hogares de la ciudad aledaña a Viena tienen un consumo 100% de energía solar.

[10] https://utopiaurbana.city/2022/07/31/conoce-aspern-la-primera-ciudad-inteligente-del-mundo/

Hoy en día, ya finalizada la etapa dos y pronta a comenzar la tercera, Aspern cuenta con más de 3.000 viviendas habitadas por más de 8.500 personas, así como unos 300 comercios. Además, cuenta con instituciones académicas en todos sus niveles que ya cuenta con más de 1.000 inscritos.

La ciudad se encuentra en la última etapa de su planificación y es una de las más avanzadas en materia inteligente del mundo. Esta fase, que tendrá lugar entre el 2023 y el 2030, consiste en terminar completamente la infraestructura. Si bien hasta el momento ya está funcionando como una ciudad, resta terminar algunos edificios para completar el plan que estipula que, para el fin de la década, existirán en Aspern unos 11.000 inmuebles residenciales con la capacidad de albergar a 20.000 personas y unas 500 empresas.

Precisamente, la ciudad es un nodo de atracción de startups que buscan un terreno de experimentación para muchas de las soluciones propuestas. Por ejemplo, los datos obtenidos de los propios edificios se envían a un laboratorio urbano, que está en funcionamiento desde 2013, para optimizar la producción y el consumo de energía, y desarrollar redes eléctricas inteligentes. Por otra parte, las startups también han intentado reducir el consumo energético. Para ello tienen mediciones en tiempo real de la energía utilizada en la casa. Teniendo en cuenta que la energía solar es almacenada en baterías, los usuarios pueden controlar no excederse de lo que puede generar el panel solar ubicado en el techo.

Hablamos, por tanto, de una ciudad referente en muchos de los ámbitos que se incluyen a la hora de definir las ciudades inteligentes, pero que no deja de ser un banco de pruebas de muchas aplicaciones. El propósito de Madrid de liderar el ranking de ciudades inteligentes debe estar vinculado a generar un *sandbox* de experimentación, pero también tener la capacidad de aplicar realmente las soluciones que funcionan.

En este sentido, existen numerosas ciudades con aplicaciones más o menos integradas en la dinámica de la ciudad. Algunos proyectos son casos aislados y otros cuentan con planes específicos de movilidad, energía, gobernanza, etc. Es difícil encontrar ciudades en las que se integren varios ejemplos de solución inteligente y esa es la dirección que debe tomar una ciudad que aspira a posicionarse como referencia. A continuación, veremos algunos de los ejemplos más significativos que se han encontrado en ciudades de todo el mundo. Se han clasificado en base a los siguientes verticales: *Smart Energy*,

movilidad inteligente, tratamiento de aguas y residuos, gobernanza, iluminación inteligente y seguridad ciudadana.

5.2 Smart energy

Las ampliaciones tecnológicas de las infraestructuras de las ciudades no implican necesariamente mejoras ni en cuestiones de sostenibilidad, ni en la reducción de la demanda energética, ni en el aumento de la calidad de vida, la riqueza y el beneficio para toda la comunidad. En muchas ocasiones, el desarrollo de ciudades inteligentes se interpreta de forma unilateral desde una perspectiva exclusivamente técnico-empresarial, dejándose de lado requisitos sociales y medioambientales. La masificación de empresas productoras de nuevas tecnologías puede derivar en efectos de rebote que pueden derivar en un desequilibrio medioambiental. De esta forma, lo que a priori supone una mejora en la calidad de vida de los ciudadanos, puede llevar a lo contrario.
En Europa, existen algunos ejemplos a nivel estatal donde se busca unificar criterios y objetivos de planificación urbana innovadora con una planificación energética sostenible. En Austria, la OEROK se encarga de esta planificación espacial y de diseminar el conocimiento y la necesidad de una planificación espacial coordinada con la planificación energética. La situación en Suiza es similar a la de Austria: el programa EnergieSchweiz proporciona una declaración de requisitos denominada Energierichtplanung (marco de planificación energética). En Alemania, existe la Energienutzungsplanung (planificación de la utilización de la energía). Se trata de un plan de utilización de la energía para desarrollar sistemáticamente los futuros sistemas energéticos de los municipios de acuerdo con las situaciones locales específicas y los sistemas de energía renovable, y que apareció por primera vez en Baviera en 2012.

De acuerdo con Heinbach et al. (2014)[11], un proceso integrado de planificación espacial y energética debe integrar una reducción de la dependencia de los combustibles fósiles y un mayor uso de los recursos energéticos urbanos en comparación con la situación actual. Pueden considerarse las tecnologías de energía renovable que utilizan el calor residual industrial, ya que pueden tener un impacto positivo en la economía local y reducir la carga ecológica.

[11] Heinbach K, Aretz A, Hirschl B, Prahl A, Salecki S (2014). Renewable energies and their impact on local value added and employment. Energy, Sustainability and Society 2014, 4:1, 1-10, doi:10.1186/2192-0567-4-1.

A pesar de sus numerosos beneficios potenciales, el despliegue de redes urbanas de calor y frío, así como su modernización, requiere procesos de planificación muy complejos y a menudo largos. Incluso para los planificadores experimentados, la selección y evaluación de la red futura, el suministro y la construcción de conexiones y sus implicaciones financieras, técnicas, de infraestructura y ambientales es una tarea que requiere mucho tiempo y recursos. Los costes iniciales de inversión y la falta de datos y capacidad en muchos municipios son otro aspecto que dificulta el despliegue de estas redes de distrito.

Un ejemplo de eficiencia energética en base a soluciones innovadoras es la iniciativa llevada a cabo por la ciudad de Rotterdam. Como parte del proyecto de ciudades inteligentes RUGGEDISED, financiado por la UE, la ciudad está implementando una red térmica inteligente para extraer el calor de las aguas residuales, así como el calor de las propias aceras por las que sus residentes caminan. Varios factores clave explican cómo y por qué es posible esto. En primer lugar, las primeras generaciones de redes de calefacción urbana necesitaban energía térmica a alta temperatura para transmitir energía desde una planta central a las instalaciones de la ciudad. Con las nuevas innovaciones como las bombas de calor, que permiten extraer energía del agua a temperatura normal, se puede extraer energía de un grupo más amplio de fuentes que antes. En segundo lugar, el enfoque local significa una red más pequeña, lo que significa que se pierde menos energía térmica durante la transmisión. Por último, el enfoque de ciudad inteligente implica también que la energía se tiene que utilizar cuándo y dónde se necesita.

Otra fuente de energía para el sistema son las aguas residuales calientes generadas por los propios edificios, que se reutilizan para producir energía. Los residentes y las empresas de la zona podrán usar la energía térmica recolectada de las calles por las que caminan. Los tubos se integrarán en la capa de asfalto del pavimento a través de la cual se bombea agua fría para capturar el calor del pavimento. Esta agua puede estar tan caliente como 65°C en un día de verano, que es más que suficiente para usarse en el sistema de calefacción urbana y almacenarse en el acuífero durante meses. Por último, una fuente de energía menos tradicional que puede ser explotada en Rotterdam es la captura de energía térmica de las personas que se mueven. Hart van Zuid es un área llena de grandes edificios, entre los que incluye el estadio cubierto y el centro de convenciones “Rotterdam Ahoy” con capacidad para 16.500 personas. Este enorme lugar es uno de esos edificios conectados

a la red inteligente y las bombas de calor instaladas podrán agregar y usar la calefacción o la refrigeración en la red inteligente existente.

Otro socio del proyecto RUGGEDISED, y uno de los diecisiete grandes proyectos de ciudades inteligentes financiados por el programa Horizonte 2020 de la Comisión de la UE, es la ciudad sueca de Umeå. Aquí se está trabajando en varias soluciones fácilmente replicables para cualquier ciudad que desee hacer inteligente su sistema energético, ya sea que proporcione refrigeración o calefacción. El socio del proyecto, Akademiska Hus (Academic Houses), posee y opera más de 3 millones de metros cuadrados de instalaciones de colegios y universidades en Suecia y actualmente está probando un nuevo enfoque para la energía inteligente. En el distrito universitario de Umeå, está experimentando una nueva tecnología de equilibrado de picos de potencia en el sistema de calefacción de distrito mediante la conexión de sensores y termómetros avanzados a un sistema central de gestión inteligente que controla la temperatura, o los niveles de energía térmica, en los edificios.

El sistema permite a Umeå precalentar edificios cuando sea necesario y apagar la energía térmica de los edificios durante las horas pico. Al integrar previsiones meteorológicas en el sistema inteligente, y precalentar en consecuencia, la demanda de energía se vuelve mucho más estable. Se espera que el sistema inteligente de gestión de la carga máxima ahorre hasta un 10% de energía y recorte los picos, con un uso de energía térmica máxima de entre el 15 y 50% en los edificios en los que se implementa.

A pesar de sus numerosos beneficios potenciales, el despliegue de redes urbanas de calor y frío, así como su modernización, requiere procesos de planificación muy complejos y a menudo largos. Incluso para los planificadores experimentados, la selección y evaluación de la red futura, el suministro y la construcción de conexiones y sus implicaciones financieras, técnicas, de infraestructura y ambientales es una tarea que requiere mucho tiempo y recursos. Los costes iniciales de inversión y la falta de datos y capacidad en muchos municipios son otro aspecto que dificulta el despliegue de estas redes de distrito.

La ciudad de São Luiz do Paraitinga (Brasil) ha implantado tecnologías de red inteligente que pretenden automatizar las operaciones de la red, recopilar información sobre la misma y optimizar la distribución de energía, tanto en el flujo de energía como en los servicios técnicos. Estas tecnologías son de gran valor para las empresas de energía, ya que ayudan a reducir los costes, evitar

futuras inversiones y mejorar sus principales indicadores clave de proceso (KPI).

Por otro lado, existen también iniciativas tecnológicas innovadoras. Un ejemplo es el software de planificación energética THERMOS, accesible a través de navegadores web, para que los planificadores energéticos locales identifiquen las opciones óptimas de red de calefacción o refrigeración para sus vecindarios. El software proporciona a las autoridades locales un mapeo instantáneo de alta resolución y nivel de dirección, utilizando OpenStreetMap y estimaciones de demanda energética incorporadas. Con esto, las ciudades pueden identificar nuevas fuentes de calefacción y refrigeración, así como los puntos de demanda de calefacción que pueden suministrarse localmente. Esta herramienta en línea de código abierto también se ha desarrollado en el marco del proyecto de investigación e innovación THERMOS financiado por Horizonte 2020 financiado por la UE.

En resumen, las ciudades tienen una amplia gama de oportunidades para beneficiarse de los sistemas inteligentes de energía térmica. Desde la identificación del exceso de calor local hasta la comprensión de la demanda, las diferentes herramientas y soluciones de ciudades inteligentes permiten a las ciudades proporcionar energía más limpia a los ciudadanos a un coste menor.

En esta línea, aunque con un foco mucho más orientado a la utilidad de los ciudadanos de manera individual, surgen diferentes iniciativas por parte de empresas y comunidades de vecinos. Algunos ejemplos son los desarrollados por Brooklyn Micro Grid, Papilio3, Toyota y We Do Solar.

Brooklyn Microgrid[12] fue impulsado por la empresa LO3 Energy con la colaboración del gigante Siemens y su aceleradora de negocios, next47. Básicamente, consiste en poner en contacto a propietarios particulares de paneles solares, los conocidos como prosumidores, con consumidores que desean comprar la electricidad fuera de la red tradicional y acceder a energía limpia. La inteligencia artificial y sus tecnologías, como el *blockchain*, son las herramientas que hacen posible este tipo de operaciones de compraventa. De esta forma, los participantes de Microgrid Brooklyn acceden al mercado energético local a través de una aplicación donde los vecinos pueden optar por comprar créditos locales de energía solar. Los prosumidores pueden elegir si

[12] https://www.tecnicaindustrial.es/brooklyn-microgrid-la-comunidad-energetica-de-nueva-york-nacida-tras-el-huracan-sandy/

venden su exceso de energía solar a la red eléctrica general o a sus vecinos, quienes adquieren la energía solar disponible a través del método de subasta.

Desde un punto de vista operativo y económico, la tecnología *blockchain* fue crucial para la creación de Brooklyn Microgrid, ya que garantizaba la seguridad y la encriptación de las operaciones.

Existen también soluciones para aquellos edificios en los que los propietarios no permiten la instalación de paneles solares en el tejado para uso individual. We Do Solar[13] ofrece una solución de paneles solares modulares diseñados para balcones. Los kits de esta startup berlinesa, constan de 8 paneles fotovoltaicos que pueden colocarse en horizontal o en vertical para adaptarse al espacio disponible. Cada panel pesa 1 kg y se fija a las barandillas de los balcones con correas resistentes a la intemperie. Los usuarios conectan el conjunto a una toma de corriente estándar para empezar a generar energía. A través de un plan de créditos de carbono, los propietarios de vehículos eléctricos en Alemania pueden incluso pedir un kit de forma gratuita.

En Ámsterdam, por ejemplo, se ha experimentado con la oferta de unidades de almacenamiento de energía en el hogar y paneles solares para los hogares que están conectados a la red inteligente de la ciudad. Estas baterías ayudan a reducir la presión sobre la red en las horas punta, ya que permiten a los residentes almacenar energía durante las horas de menor consumo. Los paneles solares también permiten a los residentes vender la energía sobrante de los paneles a la red.

Por último, dos soluciones que aúnan el problema energético con la movilidad y dan pie al siguiente apartado. Aprovechando sus conocimientos en materia de vehículos eléctricos, Toyota se adentra en el ámbito de las baterías domésticas. El sistema O-Uchi Kyuden, lanzado por el fabricante de automóviles japonés en junio de 2022, tiene una capacidad de 8,7 kWh y una salida de 5,5 kWh, y está diseñado para colocarse en el exterior de la vivienda. Al igual que la Tesla Powerwall, la batería de almacenamiento de energía de reserva lanzada en 2015, el dispositivo tiene como objetivo garantizar que los hogares tengan suficiente energía durante los cortes de electricidad. También se comercializa para el uso diario, como el uso durante las horas de menor consumo de energía, o para alimentar los vehículos eléctricos.

[13] https://app.trendwatching.com/innovations/company-sells-modular-solar-panel-kits-for-apartment-balconies

La solución de Papilio3[14] se queda fuera del ámbito doméstico, pero parte de un concepto similar. Papilio3 es un centro de carga a pequeña escala que recarga hasta 12 vehículos y puede instalarse y desplegarse en 24 horas. Fabricado en el Reino Unido a partir de contenedores de transporte reciclados, cada Papilio3 se alimenta de 36 paneles solares y de la red eléctrica local, e incluye una batería con una capacidad de hasta 250 kWh. El sistema no requiere una nueva conexión a la red, un obstáculo habitual cuando se instalan puntos de carga para vehículos eléctricos. La iluminación y la seguridad están integradas, al igual que el sistema de facturación. Como las estructuras no son permanentes, los propietarios y gestores no suelen tener que solicitar permiso de obras, y son adecuadas para su uso en ubicaciones temporales. Los alquileres flexibles a corto o largo plazo permiten añadir capacidad de carga según las necesidades sin necesidad de realizar inversiones iniciales.

A continuación, se describen algunos de los principales ejemplos relacionados con la movilidad. Se trata de un ámbito que, por un lado, está muy vinculado a la generación de energía sostenible y, por otro, vinculado a la ordenación de las ciudades.

5.3 Movilidad inteligente

Con el aumento de la población, también aumenta la congestión del tráfico en las carreteras. Sin embargo, las ciudades inteligentes pretenden que los ciudadanos lleguen al destino deseado de forma eficiente y segura. Para lograr este objetivo, los municipios recurren a soluciones de tráfico inteligentes habilitadas, principalmente, por tecnologías *IoT* y de *big data*.

Entre las soluciones de tráfico inteligentes se utilizan diferentes tipos de sensores que también extraen los datos pertinentes de los móviles de los conductores para determinar la velocidad de los vehículos y la ubicación GPS. Al mismo tiempo, los semáforos inteligentes, conectados a la plataforma de gestión en la nube, permiten controlar el tiempo de los semáforos en verde. En función de la situación del tráfico, los semáforos se modifican automáticamente, lo que en última instancia evita la congestión del tráfico en las carreteras. Además, al utilizar los datos históricos, las soluciones de *IoT* pueden predecir

[14] https://www.trendwatching.com/innovation-of-the-day/solar-ev-charging-hub-papilio3-can-be-deployed-within-24-hours

las condiciones futuras del tráfico en las ciudades inteligentes y pueden permitir a los municipios prevenir posibles congestiones.

A continuación, mostramos algunas de las soluciones tecnológicas que ya se han aplicado en diferentes ciudades del mundo.

La ciudad de Copenhague (Dinamarca) puso en marcha 380 semáforos inteligentes que no sólo dan prioridad a las bicicletas y los autobuses, sino que también ayudan a despejar las calles congestionadas tras la celebración de determinados eventos, como los partidos de fútbol. La fase de luz verde de un semáforo puede prolongarse hasta 30 segundos en función de la situación. Después de que la ciudad probara por primera vez 10 de estos nuevos semáforos inteligentes en una parte de la ciudad, se dio cuenta de la repercusión de este nuevo sistema y decidió extenderlo a toda la ciudad. En Pittsburg (EEUU), aproximadamente un tercio de los 610 cruces de la ciudad estarán equipados con semáforos inteligentes en los próximos años; los sensores de los cruces determinan el volumen de tráfico y ajustan los tiempos de parada y arranque en función del número de vehículos presentes. Desde el inicio del proyecto, los tiempos de espera en las intersecciones han disminuido un 41% y las emisiones de los vehículos se han reducido un 21%. La ciudad de Dallas también está implantando actualmente un sistema de gestión del tráfico basado en el *IoT* con la esperanza de gestionar mejor la congestión vial.

Otras soluciones de movilidad toman en consideración soluciones para el transporte público. Skånetrafiken, el proveedor de transporte público de la ciudad de Malmö (Suecia), se asoció con dos empresas para instalar un sistema de autobuses públicos conectados. El sistema recoge información en tiempo real sobre el paradero de cada uno de los autobuses. No sólo sirve para informar a los pasajeros sobre las mejores rutas para llegar a su destino, sino que también conecta los autobuses con los semáforos y entre sí. Esto permite una gestión y control inteligentes del sistema de transporte público. Por otro lado, en Londres, el servicio de trenes SeatFinder predice la carga de los vagones en sus viajes de entrada y salida de la ciudad analizando el peso. Combinan los datos de la venta de billetes, los sensores de movimiento y las cámaras de CCTV instaladas a lo largo del andén. Analizando estos datos, los operadores ferroviarios pueden predecir cómo se cargará cada vagón con los pasajeros. Cuando un tren llega a una estación, los operadores ferroviarios animan a los pasajeros a repartirse a lo largo del tren para maximizar la carga. Al maximizar el uso de la capacidad, los operadores ferroviarios evitan retrasos en los trenes.

Por último, en Potsdam (Alemania), se puso en marcha el primer tranvía autónomo del mundo. El vehículo, desarrollado por Siemens está equipado con múltiples sensores de radar, lidar (luz de un láser) y cámaras, que forman ojos digitales que graban el tranvía y su entorno durante cada viaje. El tranvía reacciona a las señales de las vías y puede responder a los peligros más rápidamente que un ser humano. Aunque todavía es un piloto, es un nuevo paso adelante en el campo de la tecnología sin conductor.

Finalmente, como consecuencia de la pandemia, han surgido nuevas formas de desplazarse por las ciudades de manera sostenible. El uso de las bicicletas como alternativas al transporte público (uno de los principales focos de contagio de virus en las ciudades) ha llevado a que surjan diferentes iniciativas inteligentes de movilidad en este campo. Se consolidan los bici-buses en numerosas ciudades y, en ciudades como Glasgow, se ha creado un sistema de circulación de bicicletas inteligente. La bicicleta del conductor principal lleva un sencillo conjunto de botones y un potente transmisor inalámbrico. Al acercarse a una intersección, el líder pulsa ese botón, lo que hace que los semáforos se pongan en verde durante 45 segundos. Es tiempo suficiente para dejar pasar a los 50 o 60 ciclistas a la vez, sin que la señal cambie a mitad de camino[15].

El sistema, desarrollado en colaboración con Sm@rt Technology, está siendo probado actualmente por el Shawlands Bike Bus, que acompaña a los niños por una ruta prescrita hasta la escuela primaria de Shawlands. Tras el éxito de esta iniciativa, Glasgow está en conversaciones con los padres de otras seis escuelas para que desarrollen también rutas seguras en bicicleta para sus hijos.

5.4 Iluminación inteligente y calidad del aire

También vinculado a los dos verticales anteriores, energía y movilidad, aparece el vertical de iluminación inteligente. Como hemos mencionado en el apartado introductorio, el desarrollo de las ciudades inteligentes pretende mejorar la calidad de vida y hacerla más sostenible y transitable. La mayoría de las farolas tradicionales instaladas en las carreteras desperdician energía, ya que están

[15] https://www.trendwatching.com/innovation-of-the-day/glasgow-bike-bus-for-schoolkids-tests-switch-to-control-traffic-lights

siempre encendidas incluso cuando no pasa ningún vehículo o persona. Tecnologías como el IoT permite a las ciudades ahorrar energía mediante la incorporación de sensores y su conexión con la solución de gestión en la nube, optimizando la gestión del alumbrado. Las soluciones de iluminación inteligente recogen los datos del movimiento de vehículos y personas y los vinculan a los datos históricos (por ejemplo, la hora del día, el horario del transporte público y los eventos especiales). Posteriormente, los datos se analizan para mejorar y gestionar la programación del alumbrado en las ciudades inteligentes. En otras palabras, puede decirse que la solución de iluminación inteligente analiza las condiciones exteriores y dirige la luz de la calle para que se encienda o se apague, se ilumine o se atenúe cuando sea necesario.
Existen numerosos ejemplos en esta materia de los que destacamos los siguientes. En 2014, Chicago inició el Proyecto de Iluminación Inteligente. Con este proyecto esperaban que las farolas consumieran hasta un 75% menos de electricidad al sustituir 270.000 luminarias.

Alba Iulia (Rumanía) planea construir una infraestructura de pruebas de al menos 100 controladores inteligentes (actuadores) que se desplegarán en las principales carreteras de la ciudad. El caso de uso de la iluminación inteligente facilitará tres funcionalidades clave que son imposibles o difíciles de proporcionar de manera eficiente hoy en día a través de la infraestructura de iluminación de la ciudad heredada e incluso de la infraestructura de iluminación moderna: (i) La entidad responsable podrá controlar a distancia, en tiempo real y de forma segura, cada poste de alumbrado de la red de destino, con el fin de ajustar la intensidad de la iluminación y gestionar de forma eficiente el consumo de energía. (ii) El sistema permitirá medir el consumo de energía en tiempo real y en base al historial. (iii) La entidad responsable de la explotación y el mantenimiento de la infraestructura de alumbrado público podrá detectar de forma proactiva las averías, las pérdidas de energía o los robos de energía en la red de alumbrado público, ya que el sistema generará un ticket de intervención en tiempo real por poste o rama de postes. Esta capacidad mejorará en gran medida la disponibilidad del servicio de alumbrado de la ciudad y reducirá los costes operativos de las actividades de mantenimiento.

En algunas ocasiones, los dispositivos de iluminación se utilizan también para medir aspectos relacionados con la calidad del aire, la temperatura, humedad, etc. San Diego ha dado un paso más al crear una red de dispositivos IoT conectados que cuentan con medidores de iluminación, sonido y clima basados en el sistema de alumbrado público, que alimentan los datos en una plataforma de nube abierta. Los datos recogidos por estos dispositivos están a disposición

de desarrolladores externos, que encuentran formas innovadoras de utilizarlos. Por ejemplo, los sonómetros y los algoritmos de triangulación localizan inmediatamente cualquier infracción del orden público, y los datos correspondientes se transfieren a la policía. Otros usos proporcionan información sobre la disponibilidad de plazas de aparcamiento y los cambios en el clima local.

En esta línea, se han implementado soluciones de monitorización medioambiental para ciudades inteligentes como Kakinada, Varanasi, Surat y Gandhinagar en la India. Aquí se supervisan parámetros meteorológicos como el ruido, la temperatura, la humedad, la presión ambiental, las precipitaciones y las inundaciones. Los datos se transmiten en tiempo real a través de un protocolo de comunicación inalámbrica a una plataforma en la nube, de forma que las autoridades de la ciudad pueden visualizar y analizar el estado medioambiental de la ciudad en el centro de mando y control.

Ciudades como Birmingham, en el Reino Unido, también están desplegando sensores de IoT para detectar la calidad del aire en tiempo real. La información generada a partir del análisis de los datos sobre la calidad del aire puede utilizarse para determinar el impacto en el medio ambiente y la salud de los ciudadanos, y desarrollar iniciativas de sostenibilidad medioambiental para reducir las emisiones nocivas.

También en Chicago (la decimoctava ciudad más contaminada de Estados Unidos) se utilizan sensores de *IoT* para recoger diversos datos sobre la calidad del aire, como los niveles de partículas, monóxido de carbono, ozono y dióxido de nitrógeno, entre otros, como parte de su iniciativa más amplia: *Array of Things (AoT).*

5.5 Tratamiento de aguas y residuos

Otro de los grandes factores a tener en cuenta en el ámbito urbano es la gestión del agua y los residuos que se generan en la vida cotidiana. Este es otro de los verticales donde más iniciativas se han puesto en práctica, lo que demuestra el interés existente por parte de organismos públicos y empresas.

En Bristol, un sistema de monitorización de la calidad del agua multiparamétrica del puerto flotante ha demostrado con éxito la viabilidad de recoger datos de alta frecuencia sobre la calidad del agua y mostrar los datos

en tiempo real. La infraestructura de la ciudad inteligente - *Bristol Is Open* - se utiliza para proporcionar una plataforma *plug & play* para el sistema de monitorización. Este nuevo sistema demuestra cómo una futura ciudad inteligente puede construir el sistema de vigilancia del medio ambiente beneficiado por la red inalámbrica que cubre el área urbana. Además, el sistema puede integrarse en el sistema de gestión del agua urbana para lograr una mayor eficiencia.

Un nuevo proyecto piloto en Chicago ofrece una solución innovadora para el agua de lluvia. Cuando la lluvia cae al suelo en la naturaleza, el agua es absorbida y filtrada por el suelo y las plantas. Sin embargo, en las zonas urbanas, los kilómetros de superficies pavimentadas y las infraestructuras hacen que la lluvia caída, o la escorrentía de las aguas pluviales, pueda ser un gran problema. El Proyecto de Infraestructuras Verdes Inteligentes (SGIM) de City Digital instaló en tres emplazamientos carreteras pavimentadas de forma permeable con sensores debajo para recoger datos sobre la escorrentía de las aguas pluviales. Estos sensores pueden registrar, entre otras cosas, las cantidades de precipitación, los niveles de humedad, las mediciones de humedad del suelo, los niveles de presión atmosférica y los índices de absorción química. Esto ayuda a entender si la infraestructura verde de aguas pluviales está funcionando, si está impidiendo que el agua de lluvia entre en el sistema de alcantarillado, qué diseños funcionan mejor en caso de lluvias fuertes frente a las suaves, y cuáles funcionan mejor durante las tormentas largas frente a las inundaciones repentinas.

En 2017, el 75% de la población de La Emilia (Buenos Aires, Argentina) se vio obligada a evacuar la zona después de que el río local destruyera la presa y los diques. Como resultado, el gobierno implementó un sistema (basado en la plataforma de sensores inalámbricos Libelium) que ofrece información en tiempo real sobre el estado del río. La recopilación de estadísticas a largo plazo también ayuda a mitigar futuros riesgos.

Finalmente, en Cluj-Napoca[16], una de las principales ciudades de la región rumana de Transilvania, se ha puesto en marcha un nuevo proyecto piloto para promover el reciclaje y la recogida selectiva de residuos: ahora los ciudadanos pueden cambiar las botellas o latas vacías por billetes de autobús gratuitos. Reciclando 15 envases (de vidrio, plástico o aluminio/metal) se obtiene un

[16] https://www.romania-insider.com/cluj-free-bus-tickets-recyclable-items-2022#:~:text=Cluj%2DNapoca%2C%20a%20major%20city,cans%20for%20free%20bus%20tickets.

billete de ida y vuelta gratuito para el transporte público. Para beneficiarse de este plan, los ciudadanos tienen que devolver su material reciclable limpio, sin líquidos ni otras sustancias tóxicas, y con la etiqueta intacta.

Una de las primeras administraciones que apostó por la optimización del reciclaje fue el Ayuntamiento de Oxford, que en 2012 inició un plan para modernizar las papeleras de los parques públicos. Con un presupuesto de unas 15.000 libras, el Ayuntamiento repartió una serie de contenedores que funcionan con energía solar y que, además, envían un email a los funcionarios del ayuntamiento cuando está casi lleno. De esta forma, los trabajadores ahorran el tiempo que podrían utilizar para ir personalmente a ver si el contenedor está lleno o no.

A pesar de la inversión inicial, esta renovación formaba parte de un plan mayor para ahorrar al consistorio un total de 80 mil libras al año gracias a la reorganización de los servicios de limpieza y de mantenimiento.

El contenedor tiene un panel solar que provee de energía al compactador de residuos interno. Al compactarse, se pueden almacenar un total de 800 litros de desperdicios, unas 8 veces más de los que pueden almacenar los contenedores corrientes.

A día de hoy, esta gestión inteligente de residuos está plenamente implantada en *Smart Cities* como Barth (Reino Unido), Viborg (Dinamarca), Arnsberg (Alemania) y Philadelphia (Estados Unidos)[17].

5.6 Gobernanza

La evolución del término “gobernanza electrónica” tiene que verse en la intersección de dos grandes movimientos: gobernanza y revolución de la información. La gobernanza electrónica apoya y facilita la buena gobernanza para todas las partes implicadas (organismos públicos, ciudadanos, empresas, …). No se trata únicamente de un sitio web o una digitalización de la prestación de servicios. Consiste en una definición más amplia del compromiso y la profundidad de las relaciones entre los ciudadanos y el gobierno (Fang,

[17] https://zemsaniaglobalgroup.com/gestion-de-residuos-en-una-smart-city/

2002)[18]. Patrim (2005)[19], señala la diferencia entre gobernanza y gobierno. Mientras que la gobernanza es la manera o el proceso de guiar a una sociedad a lograr mejor sus metas e intereses, el gobierno es la institución o instrumento para realizar este trabajo. Pero el concepto de gobernanza va más allá. Se trata también de involucrar a una ciudadanía más comprometida e interactiva, creando un espacio para la discusión. De aquí surgen conceptos como la democracia y la sociedad electrónicas, en los que se busca precisamente una mayor participación de los ciudadanos en el devenir de las ciudades.
Uno de los países que se ha consolidado como referencia internacional es Estonia. En 2008, el gobierno estonio anunció el lanzamiento de "E-Estonia", un ambicioso proyecto destinado a digitalizar todo tipo de actividades ciudadanas relacionadas con la administración. El ejemplo más conocido es la e-Residencia, que, en 2014, supuso el lanzamiento de una tarjeta de identificación digital que facilita las actividades empresariales tanto públicas como privadas en Estonia[20].

Estonia utiliza la tecnología *blockchain* para garantizar el voto electrónico de los ciudadanos. Mediante la inclusión de las tecnologías *blockchain* en su arquitectura digital, el gobierno estonio afirma haber cumplido estos objetivos: al confiar en la inmutabilidad y la naturaleza descentralizada de *blockchain*, los ciudadanos pueden estar seguros de que su información se mantiene segura y, por tanto, pueden confiar en el Gobierno. La documentación oficial disponible en E-Estonia explica que se basa en tres sistemas digitales diferentes: *e-ID, X-Road y KSI Blockchain*. *e-ID* hace referencia a un documento de identidad electrónico; es decir, un servicio de identidad digital, que incluye un sistema basado en el DNI electrónico para acceder al servicio digital. *X-Road* hace referencia a una solución de capa de intercambio de datos de código abierto que permite la interoperabilidad entre organizaciones institucionales. Se utiliza para compartir información entre instituciones públicas de forma segura y permite el intercambio automático de datos no sólo a nivel interno sino también entre países. El último componente de la infraestructura digital de Estonia incluye el llamado *KSI Blockchain*, que supuestamente se refiere a un sistema de marcas de tiempo utilizado para preservar la integridad de los documentos digitales dentro de los múltiples registros públicos (por ejemplo, la asistencia sanitaria, la propiedad).

[18] 'E-Government in Digital Era: Concept, Practice, and Development' by Zhiyuan Fang, Ph.D. School of Public Administration, National Institute of Development Administration (NIDA), Thailand; 2002

[19] http://www.ub.edu/prometheus21/articulos/obsciberprome/gobelec.pdf

[20] https://p2pmodels.eu/decentralizing-what-when-blockchains-perspectives-clash/

El uso de *blockchain* en Estonia se asocia también a la necesidad de ciberseguridad; tras recibir un ciberataque masivo en 2007, la ciberseguridad se convirtió en un tema central y llevó a la implementación de *blockchain* a nivel arquitectónico.

La experimentación con *blockchain* para facilitar y ampliar los procesos de gobernanza está atrayendo cada vez más la atención de diversos campos de las ciencias sociales (por ejemplo, Cagigas et al., 2021; Risius & Spohrer, 2017)[21]. Dentro de la literatura emergente sobre la gobernanza basada en *blockchain*, podemos encontrar un importante contraste entre dos corrientes. Por un lado, un conjunto de discursos hegemónicos (por ejemplo, Hayes, 2016; Heuermann, 2015; Swan, 2015) asume inherentemente que "todo lo que pueda ser descentralizado lo será" (Johnston, 2014). Esta corriente está influenciada por los valores de las criptocomunidades y por la llamada ideología criptoanarquista (May, 1988): concibe el *blockchain* como un objeto para perturbar las formas centralizadas de poder y evitar los intermediarios. También engloba las visiones libertarias que luchan por crear una sociedad global emergente sin Estados ni instituciones tradicionales (Atzori, 2015; Golumbia, 2016).

Por otro lado, podemos encontrar una corriente crítica que destaca el carácter reduccionista de la primera (por ejemplo, Atzori, 2015; Atzori y Ulieru, 2017). Dentro de esta corriente, el contraargumento es que la adopción masiva de servicios de *blockchain* -sin instituciones públicas que los coordinen- puede crear nuevas oligarquías y aumentar la polarización de la sociedad (Primavera & Loveluck, 2016). Esta corriente crítica se basa habitualmente en el refuerzo del papel de las autoridades centrales en la gobernanza. Como resultado, las potencialidades de *blockchain* en este ámbito se conciben de manera que apoyen el control requerido por las formas institucionales de gobernanza. Por ejemplo, para proporcionar más transparencia a las instituciones centrales que operan en un contexto institucional (Nguyen, 2016) o mecanismos más eficientes para controlar el fraude fiscal (Ainsworth & Shact, 2016). En esta corriente, *blockchain* se ha defendido como una solución potencial a varias cuestiones de la sociedad *datafied* (Schäfer & Van Es, 2017). Entre estas cuestiones se encuentran: la garantía de la propiedad de los datos de los ciudadanos (Tapscott & Tapscott, 2016), la urgencia de la protección de la privacidad (Zyskind & Nathan, 2015) y las demandas de aumentar el grado de

[21] https://academic.oup.com/policyandsociety/article/41/3/386/6566828#367027411

transparencia de las plataformas (Catlow, 2017; Tapscott & Tapscott, 2016). El creciente número de documentos e informes políticos en los que se discute la gobernanza basada en *blockchain* publicados por varios responsables políticos internacionales, como la Unión Europea, la OCDE, las Naciones Unidas y el Banco Mundial, por nombrar algunos, ilustra la relevancia de este debate.

A finales de 2018, se estimaba que se estaban probando más de 100 proyectos de *blockchain* dirigidos por gobiernos en más de 40 países (Jun, 2018). La experimentación con *blockchain* en la política gira en torno a áreas como los sistemas de votación electrónica, la gestión de los registros de la propiedad, el registro y el intercambio de información médica, la creación del DNI electrónico y, más recientemente, incluso las ciudades *blockchain* (ibídem). En general, el poder de las cadenas de bloques para el interés público reside en su defendida capacidad de ofrecer simultáneamente transparencia, confianza y privacidad, todos ellos elementos deseables desde la perspectiva de la gobernanza. Como resultado, la cadena de bloques "en", "a favor" o incluso "en contra" del gobierno surge como un campo de estudio emergente.

El concepto de "*blockchain*" se convierte en este sentido en una herramienta potencialmente poderosa para ser utilizada en el imaginario público. Nos basamos en este choque entre estas diferentes corrientes y sus imaginarios para explorar si tales aplicaciones experimentales de *blockchain* a nivel gubernamental están realmente cumpliendo las promesas de "disrupción" o, por el contrario, reforzando las prácticas centralizadas. En este sentido, resulta especialmente relevante profundizar en los imaginarios y las razones por las que las instituciones gubernamentales, como las de Estonia, están cada vez más interesadas en incorporar *blockchain* a su infraestructura digital.

A su vez, China ha seleccionado 15 zonas piloto y ha identificado varias áreas de aplicación para "llevar a cabo la aplicación innovadora de la tecnología *blockchain*". Las zonas piloto incluyen áreas en las principales ciudades de China, Pekín y Shanghái, así como Guangzhou y Chengdu, en las provincias sureñas de Guangdong y Sichuan, respectivamente, según la declaración en la cuenta oficial de medios sociales Wechat de la Administración del Ciberespacio. Aparte de las zonas piloto, 164 entidades, incluyendo hospitales, universidades y empresas fueron seleccionadas para llevar a cabo proyectos piloto de *blockchain*[22].

[22] https://www.reuters.com/world/china/china-selects-pilot-zones-application-areas-blockchain-project-2022-01-30/

Austin (Texas) puso a prueba una plataforma de cadena de bloques que almacenaba de forma segura los documentos de identificación de las personas sin hogar, permitiendo a los proveedores de servicios locales acceder fácilmente a esa información. El condado de Cook, en Chicago, y South Burlington, en Vermont, han probado sendas cadenas de bloques utilizadas para los registros de propiedad de viviendas.
Entre las ciudades que están aprovechando esta tecnología se encuentra Reno (Nevada), que a principios de junio de 2020 anunció sus planes de poner en marcha lo que se describe como el primer sistema de mantenimiento de registros con *blockchain* de su clase, apodado "*Biggest Little Blockchain*", en un esfuerzo por aumentar la transparencia y la responsabilidad.

El Registro de Lugares Históricos de Reno, una lista administrada por el Departamento de Servicios de Desarrollo de la ciudad, será el primer sistema de registro que utilice la tecnología, según la ciudad. Inicialmente, sólo la información relacionada con los cambios que se han realizado en estos edificios estará disponible en la cadena de bloques, pero Reno espera ampliar el sistema para abarcar otros registros de la ciudad, como los trabajos de mantenimiento, los permisos y las licencias, según el comunicado de prensa de la ciudad. Este sistema podría mejorar la eficiencia del proceso de aprobación de las modificaciones de los edificios históricos, ya que cada entidad implicada en ese proceso podrá acceder a la misma base de datos al mismo tiempo.

5.7 Seguridad ciudadana

Por último, la tecnología puede facilitar las labores de seguridad ciudadana tanto en la prevención como en el control de la delincuencia. En los últimos años se han testado numerosas tecnologías tales como drones, inteligencia artificial, *big data*, etc. Por ejemplo, El uso de drones se ha generalizado en los últimos años por parte de las instituciones encargadas de la prevención y la seguridad en las ciudades y por particulares. Aunque está comprobado que estos sistemas permiten llevar a cabo funciones de vigilancia efectivas del espacio público, aún hace falta prospección en este campo para identificar la mejor manera de obtener resultados óptimos. La proliferación de esta tecnología requiere una regulación adecuada, que sea correctamente aplicada, con tal de garantizar su uso seguro. El fácil acceso de particulares a este tipo de aparatos hace necesario plantearse, desde la responsabilidad pública, los riesgos que puede implicar un uso indebido, e incluso criminal, de los mismos.

La inteligencia artificial (IA) se utiliza para diversos fines; desde la detección de matrículas de vehículos con tasas o denuncias pendientes, el reconocimiento facial, el análisis del lenguaje en las redes, la regulación y planificación del tráfico, hasta la prospección futura de incidentes de seguridad o la robotización de funciones policiales. La velocidad de innovación de estas tecnologías y el entusiasmo acrítico que genera en algunos operadores dificulta un análisis sosegado sobre la conveniencia de su utilización, circunstancia que puede afectar la toma de decisiones acertadas en este campo. Por otro lado, la incorporación de la inteligencia artificial tiende a transformar el proceso de toma de decisiones operativas en una operación puramente mecánica, lo cual plantea retos de diversa índole. En primer lugar, frente a la supuesta objetividad de la máquina, ya que los parámetros de razonamiento de la máquina (algoritmos) son introducidos por la mente humana y parten de ciertos apriorismos que implican frecuentemente juicios de valor. En segundo lugar, la robotización de la policía transforma radicalmente la función policial, si es que no la suprime en algunos procesos.

En ciudad de Ciudad del Cabo (Sudáfrica), se introdujo una solución de reconocimiento de matrículas que contribuyó a hacer mucho más segura la calle principal que conduce a uno de los barrios más ricos de la ciudad. Se instalaron 42 cámaras diurnas y nocturnas para poder controlar la identidad de hasta 300.000 coches por hora. Las autoridades municipales informaron de un descenso del 65% en la delincuencia tras la introducción del sistema.

Otro ejemplo es el caso de más de 100 ciudades de Estados Unidos que utilizan una solución de detección de disparos. La solución utiliza micrófonos conectados instalados por toda la ciudad. Los datos de los micrófonos pasan a la plataforma en la nube, que analiza los sonidos y detecta un disparo. La plataforma mide el tiempo que tarda el sonido en llegar al micrófono y estima la ubicación del arma. Cuando se identifica el disparo y su ubicación, el software en la nube alerta a la policía a través de una aplicación móvil[23].

En Guayaquil, han lanzado recientemente una app denominada “AlertAPP” con la que se pueden reportar robos, accidentes de tránsito y emergencias médicas, entre otros incidentes, en nueve sectores de la ciudad. La aplicación busca que la comunidad colabore en la lucha contra actos de delincuencia que se registran en la ciudad. También se podrán encender las alarmas

[23] https://www.bbc.com/mundo/noticias-59113535

comunitarias ubicadas en nueve puntos de la ciudad. Estas, a su vez, están enlazadas a la sala de operaciones de la Corporación para la Seguridad Ciudadana de Guayaquil (CSCG)[24].

Por último, Jaipur (India) introdujo una solución de vigilancia con 150 cámaras en toda la ciudad. Equipado con el *videowall* Full HD de Delta, el Centro Operativo de la Red de Jaipur integra toda la infraestructura digital desarrollada recientemente, como quioscos inteligentes, banda ancha inalámbrica, cubos de basura con sensores, farolas inteligentes y aparcamiento, entre otros. Permite al operador vigilar tanto las infracciones, como las intrusiones en las zonas, el levantamiento de objetos en los monumentos y los cruces de líneas, enviando alarmas y ventanas emergentes de forma regular.

[24] https://www.eluniverso.com/guayaquil/comunidad/asi-se-puede-acceder-a-la-aplicacion-municipal-alertapp-gye-para-reportar-robos-o-accidentes-nota/

6 Conclusiones

La aspiración de dotar a las ciudades de una capa de inteligencia basada en tecnologías digitales supone dar un salto evolutivo en su capacidad para gestionar la complejidad a la que se enfrentan. No sólo eso, implica dar un paso en la imprescindible transformación de nodo a red y supone elevar el propio nivel de complejidad de la ciudad multiplicando el potencial de crecimiento de la gran ventaja comparativa del siglo XXI: la colaboración.

Fue Michael Porter quien, en 1985, en su libro "Ventaja Competitiva", estableció la importancia de optimizar cada aspecto de la cadena de valor como forma de construir ventajas sostenibles frente a la competencia. Sin embargo, el mundo ha cambiado, y las tendencias exponenciales que dominan hoy el mundo hacen cada vez más complicado que una sola organización pueda dar forma a las soluciones de los próximos años. El cambio climático es quizá el ejemplo más claro.

Al igual que las organizaciones tienen que adaptarse al nuevo mantra de la organización en red, las ciudades deben unirse igualmente a esta tendencia y formar parte de redes superiores. Para ello, el primer paso es la asunción interna del mantra y la conversión en una red apta para la colaboración.

En este sentido, la visión de la ciudad como un entorno en el que distintos agentes puedan colaborar, incluyendo a las propias administraciones, las corporaciones y las startups, es esencial tanto para el impulso de la actividad económica, como para la mejora de calidad de vida de sus habitantes.

Ello pasa por dotarse, como organización, de herramientas adaptadas a un escenario en el que la complejidad eleva la dificultad de implementación. Frente a un pasado en el que era posible dominar mediante la acumulación de recursos y la mejora en términos de eficiencia, hoy, la agilidad y la interoperabilidad son claves.

En este sentido, la creación de entornos adaptativos, como puede ser un *sandbox*, con distintos niveles de flexibilidad e interoperabilidad en función de los distintos niveles de complejidad es una vía óptima para evolucionar las ciudad y posicionarla como un territorio relevante en el futuro.

En definitiva, en este informe se ha realizado un análisis de iniciativas y buenas prácticas que resultan interesantes a nivel municipal y que pueden servir como

base para abrir el debate en Madrid, una ciudad que aspira a ser referencia en el ámbito de las *Smart Cities*.

Aunque el análisis se ha estructurado a través de diversos verticales relacionados con diferentes ámbitos de actuación en la gestión de una ciudad, es importante mencionar la necesidad de crear estrategias que integren varios de los verticales estudiados. De poco sirve crear iniciativas aisladas si no se es capaz de orquestar un camino que permita alcanzar objetivos ambiciosos.

Durante el documento se menciona también la necesidad de generar *sandbox* o bancos de pruebas, pero el punto determinante, en este sentido, es que las estrategias confluyan en beneficios claros tanto para la ciudad como para los ciudadanos que la habitan.

Para alcanzar estos objetivos tanto parciales como finales, se ha mencionado también la importancia de la colaboración público-privada y, como se ha visto en algunas de las buenas prácticas identificadas, las empresas (tanto públicas como privadas), las startups, las universidades y las administraciones públicas, generan iniciativas muy interesantes cuando colaboran entre ellas.

Por último, aunque se ha pasado por encima al comienzo del análisis, Madrid es una ciudad con estructuras y normas definidas desde hace muchos años. No es lo mismo crear una ciudad de cero en la que se configuran las infraestructuras desde cero de una manera lo más eficiente posible. Se trata de una ciudad que tiene que adaptar las soluciones *Smart* a las condiciones que ya existen. La implementación de nuevas iniciativas tampoco tiene por qué ser de manera radical y, de hecho, sería recomendable una estrategia gradual en la que se van incorporando iniciativas desde las más sencillas hasta las más complejas. Por ejemplo, mediante la revisión de las compras/iniciativas/licitaciones para que pese más la adecuación de criterios que se considere (ciudad inteligente, sostenibilidad, etc.) por encima del precio. En segundo lugar, a través de la regulación de las ordenanzas municipales, para lograr involucrar a comerciantes, particulares, etc. Y, finalmente, mediante la introducción de casos reales de *sandbox* (para las pruebas más ambiciosas)

www.barrabes.biz