Moving Forward Together: The Emergence of the Interconnected Geospatial Ecosystem

فلنمضِ معاً على الطريق قدماً: لإنشاء المنظومة المتكاملة للمعلومات الجيومكانية

By: Mohammed Yahya AlSayela, Ingo Simonisb, Zaffar Sadiq Mohamed-Ghousea, Asim AlGhamdia

a: General Authority for Survey and Geospatial Information (GEOSA) b: Open Geospatial Consortium (OGC)

Cite as: Alsayel, M. Y., Simonis, I., Mohamed-Ghouse, Z. S., AlGhamdi, A. (2025). Moving Forward Together: The Emergence of the Interconnected Geospatial Ecosystem. DOI: https://docs.ogc.org/techpaper/25-017.pdf

بقلم: محمد بن يحيى آل صايل[أ]، إنغو سيمونيس[ب]، ظفر صادق محمد غوث [ب]، عاصم الغامدي[أ]

الهيئة العامة للمساحة والمعلومات الجيومكانية (الجيومكانية)
أتحاد البيانات الجيومكانية المفتوحة

الاقتباس: آل صايل، م. ي.، سيمونيس، إ.، محمد غوث، ظ. ص.، الغامدي، ع. (2025). فلنمضِ معاً إلى الأمام: لإنشاء منظومة مستقبلية مترابطة – للبيئة الحاضنة – للمعلومات الجيومكانية.
DOI: https://docs.ogc.org/techpaper/25-017.pdf

A New Era for Geospatial Collaboration

Around the world, decisions with far-reaching impact—on climate, infrastructure, finance, and national security—depend on timely, trusted geospatial information. For decades, Spatial Data Infrastructures (SDIs) have played a foundational role in enabling governments and industries to manage, share, and apply this data effectively.

As technologies, demands, and expectations evolve, so too must the systems that support them. What's emerging is a next-generation geospatial ecosystem: a dynamic, scalable, and interconnected environment where people, technologies, and data work together to solve real-world problems. These ecosystems build on the strengths of SDIs but go further—integrating not only stakeholders and systems, but also AI models, analytics, automation, and semantic standards—enabling more adaptive, intelligent, and collaborative approaches to some of the world's most pressing challenges.

In this ecosystem, actors—whether human or machine—can be added, removed, or reconfigured on demand. They form around specific needs, collaborate through shared data

حقبة جديدة من التعاون في حقل المعلومات الجيومكانية

من المسلم به أن القرارات ذات الأثر البعيد المدى على أمور مثل المناخ والبنية التحتية والتمويل النقدي والأمن الوطني كلها تعتمد على المعلومات الجيومكانية الموثوقة ذات الصلاحية الآنية. ولقد ظلت البنيات التحتية للبيانات المكانية (SDIs) تضطلع، لعقود عديدة، بوظيفة تأسيسية في تمكين الحكومات والأنشطة الصناعية المختلفة من إدارة وتقاسم وتطبيق هذه البيانات بفعالية عالية.

ومع التطور الذي يطرأ على التقنيات والمطلوبات المستجدة والتوقعات فإن الحاجة تدعو إلى إحداث تطور موازن في النظم المساندة لتلك التقنيات والمطلوبات والتوقعات يواكب تطورها على قدم المساواة.

ما يجري الآن هو بوادر ظهور جيل جديد من المنظومة المستقبلية للبيئة الحاضنة للمعلومات الجيومكانية وهو عبارة عن بيئة مترابطة وقابلة للتوسيع تعمل فيها الكوادر البشرية والتقنيات والبيانات بجهد مشترك ومتعاضد لحل كل المشكلات القائمة على أرض الواقع. ورغم أن هذه المنظومة المتكاملة تستند في عملها على القوى المستمدة من البنية التحتية للبيانات المكانية إلا أنها لا تقف عند هذا الحد، بل تعمل على بناء تكامل لا يقف عند الجهات المعنية والنظم فقط، بل يتجاوز هذا الحد ليصل إلى نماذج الذكاء الاصطناعي والتحليل المنطقي والتشغيل الآلي (أو الأتمتة) والمعايير الدلالية وصولاً إلى مقاربات وطرق معالجة تعاونية أكثر ذكاءً وأكبر قابلية للملاءمة والتكيُّف في تصديها لبعض من أكثر التحديات إلحاحاً في عالم اليوم.

في هذه المنظومة المتكاملة المستقبلية للبيئة الحاضنة تكون العناصر الفاعلة سواء من البشر أو الآلات عرضة للإضافة أو الإزالة أو إعادة التشكيل حسبما يقتضيه الحال. وذلك لأن هذه العناصر تتشكل حول احتياجات محددة ويتم التعاون بينها عبر حيز من البيانات المشتركة وتعمل ضمن أُطر دقيقة للحوكمة الإدارية تتضمن ملكية البيانات

spaces, and operate under clear governance frameworks that ensure data sovereignty, trust, and security. The approach is inherently inclusive and flexible, allowing governments, innovators, researchers, and communities to participate meaningfully and responsibly.

Drawing on insights from global projects—including the Saudi Arabian National Geospatial Ecosystem (SANGE)—this paper explores how geospatial ecosystems are reshaping our thinking about digital infrastructure, collaboration, and knowledge exchange. It highlights the foundational role of standards, semantics, and governance in this transformation and why they are critical to unlocking the full value of geospatial data in the digital age.

Introduction

The geospatial landscape has evolved significantly over the past 50 years, driven predominantly by rapid technological innovation and growing market demands for precise and actionable location-based insights. Initially characterized by isolated and incompatible systems, the geospatial data industry has matured through SDIs into robust infrastructures supporting critical services across sectors."

Technological advancements, particularly in artificial intelligence (AI), machine learning (ML), cloud computing, telecommunication networks, and enhanced sensor technologies, have profoundly influenced the geospatial domain. These developments have enabled more efficient data processing, real-time analytics, and predictive modeling, expanding geospatial applications far beyond traditional boundaries such as mapping and surveying into sectors like environmental monitoring, urban planning, agriculture, retail and marketing, health, tourism, finance, insurance, and defense.

Simultaneously, the market dynamics have shifted considerably. The global geospatial market is anticipated to continue growing rapidly, propelled by the increased integration of geospatial data with emerging digital technologies such as digital twins, IoT, the metaverse, and immersive 3D/4D environments. This growth is fueled further by rising demands for geospatial capabilities in many domains, such as smart city initiatives, precision agriculture, climate resilience, defense strategies, or financial risk assessments.

For stakeholders within this evolving landscape—including governments, private sector companies, academia, and civil society organizations—the implications are substantial. Governments remain pivotal as providers of authoritative geospatial data, ensuring integrity, provenance, and trust amid an environment increasingly influenced by AI-generated synthetic data. The need for reliable, authoritative sources that ensure data authenticity and provenance has become paramount.

Summarizing issues with traditional Spatial Data Infrastructures that have been reported by other authors, three main aspects are most prominent (see for example, Coetzee et al 2021,

، وموثوقيتها وأمنها. وهذه الطريقة في أداء العمل هي طريقة شاملة ومرنة في جوهرها مما يجعلها قادرة على استيعاب الجهود التي تبذلها الحكومات ورواد التجديد والابتكار والباحثون وعامة المجتمعات وتمكين هذه الأطراف جميعاً من المشاركة بصورة إيجابية ومسؤولة.

وبناءً على التجربة المستفادة من المشروعات المنفذة عالمياً، ومنها منظومة البيئة الحاضنة للمعلومات الجيومكانية الوطنية للمملكة العربية السعودية (SANGE)، سنعمل من خلال هذه الورقة العلمية على استجلاء الأثر الذي أحدثته، ولا تزال تحدثه، منظومة البيئة الحاضنة للمعلومات الجيومكانية في إعادة تشكيل نظرتنا إلى كل من البنية التحتية الرقمية والتعاون وتبادل المعرفة. وذلك من حيث قدرتها على تسليط الضوء على الوظيفة التأسيسية للمعايير، والدلالات اللغوية والحوكمة في هذا التحول وإظهار الأهمية الحاسمة لهذه العوامل في الكشف عن القيمة الكاملة للبيانات الجيومكانية في عصر الرقمنة.

مقدمة

لقد شهدت الساحة الجيومكانية تطوراً كبيراً خلال الخمسين (50) عاماً الماضية، مدفوعة بشكل كبير بالابتكارات التقنية المتسارعة والطلب الذي ظل يتنامى في الأسواق على الرؤى الكاشفة والمنطقية والدقيقة المبنية على الموقع والقابلة للتطبيق والتنفيذ. إن صناعة البيانات الجيومكانية التي كانت في أول أمرها مجرد نظم منعزلة عن بعضها تتسم بالتضارب أو عدم التوافق، تحولت في مرحلة نضجها من خلال البنية التحتية للبيانات المكانية إلى بنيات تحتية قوية وراسخة تدعم الخدمات الأساسية الأكثر تأثيراً عبر القطاعات المختلفة.

إن التقدم الذي تحقق على المستويات التقنية، وبشكل خاص في مجالات الذكاء الاصطناعي، والتعلم الآلي، والحوسبة السحابية، وشبكات الاتصالات السلكية واللاسلكية، والتقنيات المختلفة لأجهزة الاستشعار، كان له أعمق الأثر في المجال الجيومكاني. وبفضل هذه التطورات يمكننا الوصول إلى طرق أكثر فعالية في معالجة البيانات، والتحليل المنطقي الآني، وصنع النماذج الاستباقية أو نماذج التوقعات، والتوسع في التطبيقات الجيومكانية إلى مسافات تبعد كثيراً عن الحدود التقليدية مثل إنتاج الخرائط وعمليات المسح التي تتناول قطاعات مثل مراقبة وضبط البيئة، والتخطيط الحضري، والزراعة، وتجارة الجملة والتجزئة والتسويق، والصحة، والسياحة، والموارد المالية والتمويل، والتأمين، والدفاع.

وقد واكبت هذه التطورات قفزة مقدرة في ديناميكيات السوق. ومن المتوقع أن يشهد السوق العالمي للجيومكانية نمواً مطرداً وسريعاً تدفعه حركة التكامل المتزايد من البيانات الجيومكانية والتقنيات الرقمية الناشئة مثل التوائم الرقمية، وإنترنت الأشياء، والتمثيل الظاهري، والبيانات الاندماجية ثلاثية الأبعاد ورباعية الأبعاد. ومما يزيد هذا النمو اندفاعاً حالات الطلب المتزايدة على القدرات الجيومكانية في كثير من المجالات مثل مبادرات المدن الذكية، أو الزراعة الموجهة، أو التكيُّف مع التغييرات المناخية، أو الاستراتيجيات الدفاعية، أو دراسات وتقييم المخاطر المالية.

وبالنسبة الجهات المعنية والشركاء الأساسيين في هذا المشهد المتطور - ومنهم الحكومات، وشركات القطاع الخاص، والجهات الأكاديمية ومنظمات المجتمع المدني - فإن الآثار المترتبة تكون كبيرة ولابد.
أما الحكومات فستظل هي المرتكزات المحورية القادرة على تزويد غيرها بالبيانات الجيومكانية الموثوقة بما يضمن عناصر الدقة والأمانة وصحة المصدر أو المنشأ والثقة في ذلك في بيئة أصبحت تتعرض لتأثير متزايد من البيانات المصطنعة التي يأتي بها الذكاء الاصطناعي. إن الحاجة إلى المصادر الموثوقة الجديرة بالاعتماد والتي تضمن صحة البيانات وسلامة مصادرها قد باتت الآن حاجة ملحة وأساسية.

وإذا أردنا أن نلخص القضايا المتعلقة بالبنى التحتية التقليدية للبيانات المكانية، نجد أن هنالك ثلاثة جوانب رئيسية هي التي استأثرت بقدر أكبر من الاهتمام (أنظر مثلاً ما أشار إليه "كويتزي وآخرون في العام 2021"

Dissanayake et al 2025, Li et al 2024, Saeter 2024, or Sjoukema et al 2017; and many others). These critiques are not indictments of SDIs, but rather reflections of how the landscape has changed and why SDIs must evolve. First, SDIs have at times struggled with integrating diverse data sources and formats, especially when data quality or semantics are inconsistent—leading to challenges in discovery and reuse. Second, discovery and access mechanisms sometimes emphasized technical implementation over user experience, leaving questions of data ownership, usability, and privacy under-addressed. Third, policy and governance hurdles—ranging from legal frameworks to funding models—have made it difficult for SDIs to adapt quickly to fast-moving societal and technological developments. These observations have informed the emerging vision of geospatial ecosystems, which we explore in this paper.

The concept of geospatial ecosystems itself is shifting towards a scenario-centric model, reflecting how communities and stakeholders increasingly coalesce around specific challenges or scenarios rather than generic spatial data infrastructures. This shift necessitates highly adaptable, responsive systems that can quickly integrate diverse datasets and deliver precise, context-specific insights.

Linked data principles and graph-based systems are emerging as vital components in these ecosystems, facilitating discovery, traceability, and semantic clarity of geospatial information. These principles not only enhance the reliability of data usage but also enable powerful semantic associations, ensuring that each data element is explicitly linked to its meaning and origin.

The growing emphasis on structured data-sharing environments known as data spaces further enriches these ecosystems. Data spaces incorporate data sovereignty, high levels of interoperability, decentralization, and trust, allowing multiple organizations and sectors to collaborate on shared datasets without relinquishing data ownership. This approach enables secure and efficient collaborative environments, reinforcing trust among stakeholders.

In response to these evolving dynamics, geospatial ecosystems must prioritize agility, inclusivity, and continuous innovation. Stakeholders are required to adopt new skills, particularly related to AI, data analytics, cloud computing, and cybersecurity, while maintaining vigilance against potential ethical and privacy concerns. Continuous investment in interoperability, certification, education, and community engagement remains critical to sustain the momentum and ensure widespread adoption of robust standards and technologies.

Overall, the evolution of the geospatial landscape points toward increasingly interconnected, intelligent, and scenario-driven ecosystems, positioning stakeholders across sectors to collaboratively address global and local challenges more effectively. The developments outlined here also have an impact on standardization bodies such as the OGC. The evolving landscape of geospatial ecosystems is heavily influenced by rapid

أو ديسانايك وآخرون في العام 2025" أو لي وآخرون في العام 2024 " أو "سيوكيما وآخرون في العام 2017"؛ وكثيرون غيرهم. ولم تكن هذه الكتابات النقدية محض اتهامات موجهة إلى البنيات التحتية للبيانات المكانية بل كانت تأملات تتعلق بكيفية التغيير والتحول الذي طرأ على المشهد وتدعو إلى ضرورة إطلاق عملية التطوير المطلوبة لتلك البنيات التحتية المكانية. وأولى المعضلات كانت تتمثل في الصعوبة التي تعاني منها البنيات التحتية للبيانات المكانية، من وقت لآخر، في الجمع بين المصادر المتنوعة والصيغ المتعددة للبيانات، خاصة في حالات التنافر وعدم الانسجام في الجودة النوعية والدلالات اللغوية للبيانات - وهذه ظاهرة تؤدي الى تحديات تتعلق بالاكتشاف وإعادة الاستعمال. ثانياً: لقد ثبت أن آليات اكتشاف البيانات والوصول إليها تميل أحياناً إلى تغليب جانب التنفيذ الفني على جانب الخبرة الفنية لدى المستخدم مما يعني أن المسائل المتعلقة بملكية البيانات وإمكانية استخدامها وجانب الخصوصية لا تجد القدر الكافي من الاهتمام. والأمر الثالث هو العقبات والعراقيل التي تنص عليها السياسات والحوكمة – وهي تتراوح بين الأطر القانونية ونماذج التمويل - وقد كان من أثر ذلك أنها أوجدت صعوبات حدت من قدرة البنيات التحتية الجيومكانية على المواكبة والتكيف السريع مع التطورات الاجتماعية والتكنولوجية السريعة الخطى. وقد سلطت هذه الملاحظات الضوء على الرؤية الناشئة والمتصاعدة لمنظومات البيئية الحاضنة الجيومكانية التي نعمل على استطلاع أبعادها والكشف عنها من خلال هذه الورقة العلمية

إن فكرة منظومات البيئة الحاضنة للمعلومات الجيومكانية في حد ذاتها قد بدأت تميل إلى بلورة نموذج يتمحور حول سيناريو بعينه يعكس الكيفية التي جعلت المجتمعات تتجه بصورة متزايدة إلى الائتلاف لمواجهة تحديات أو سيناريوهات محددة بدلاً من البنيات التحتية العامة للبيانات المكانية. وهذا الميل أو الانعطاف يضعنا أمام ضرورة إيجاد نظم عالية التجاوب وعالية التكيف لها قدرة على الدمج والتكامل بين مجموعات البيانات المتباينة والخلوص إلى رؤى دقيقة تتوافق بشكل محدد مع سياق البحث ولا تخرج عنه.

القواعد والمبادئ التي تستند عليها البيانات المتصلة بالربط والنظم المستندة على التمثيل البياني آخذة الآن في البروز المتصاعد لتشكل مكونات جوهرية في هذه المنظومة المستقبلية للبيئة الحاضنة كعناصر مسهلة للاكتشاف والقدرة على التتبع والوضوح في دلالات البيان اللغوي للمعلومات الجيومكانية. ولا تكتفي هذه المبادئ بتعزيز الثقة في الجدوى من استخدام البيانات وحسب، بل تتجاوز ذلك إلى تقوية روابط الدلالات اللغوية بما يؤكد أن كل عنصر من عناصر البيانات يرتبط بشكل واضح بمعناه ومصدره

إن التأكيد المتزايد على البيئات الهيكلية لتشارُك البيانات، والتي تعرف بحيز البيانات، من شأنه أن يعطي مزيداً من الزخم لهذه المنظومات للبيئة الحاضنة ولا شك. كما أن المساحات المخصصة لحيز البيانات تضم في طياتها كلاً من ملكية البيانات، ومستويات عالية من قابلية التشغيل المتبادل، واللامركزية والثقة، بالإضافة إلى تمكين العديد من المؤسسات والقطاعات من التعاون حول مجموعات البيانات المشتركة دون أن يضطر أي طرف منهم إلى التخلي عن ملكيته لبياناته. ومن شأن هذه المقاربة أن تؤدي إلى إيجاد بيانات تعاونية مأمونة وعالية الكفاءة بما يؤدي إلى تعزيز الثقة المتبادلة بين الجهات المعنية.

من أجل التجاوب مع هذه الديناميكيات الآخذة في التطور، يتعين على منظومات البيئة الحاضنة للمعلومات الجيومكانية أن تضع لنفسها سلم أولويات لسرعة الاستجابة والشمولية واستمرار التجويد والابتكار. كما أن الجهات المعنية والشركاء الأساسيين مطالبون بأن يأخذوا بمزيد من المهارات وبشكل خاص ما يتعلق منها بالذكاء الاصطناعي وتحليل البيانات والحوسبة السحابية والأمن السيبراني مع التحلي باليقظة تجاه مخاوف الخروقات الأخلاقية ومحاولات التعدي على الخصوصية.

إن استمرارية الاستثمار في أنشطة مثل قابلية التشغيل المتبادل، ومنح التراخيص وشهادات الكفاءة، والتعليم، وإشراك المجتمع المحلي، ستظل هي العوامل الحاسمة والبالغة الأهمية لاستدامة هذه القوة الدافعة وضمان تبني المعايير الثابتة والتقنيات الفاعلة على أوسع نطاق.

ويمكن القول بأن تطور المشهد الجيومكاني يسير بوجه عام، وعلى نحو متزايد، باتجاه العمل على نُظُم بيئية حاضنة مترابطة وذكية تحركها سيناريوهات محددة مما يضع الجهات المعنية عبر القطاعات المختلفة في موضع يمكنهم من التعاون فيما بينهم لمواكبة التحديات العالمية والمحلية والتصدي لها بقدرٍ أكبر من الفاعلية. إن التطورات التي تطرقنا لها في هذه العجالة، يمتد أثرها أيضاً إلى الهيئات المختصة بوضع المعايير القياسية مثل اتحاد البيانات الجيومكانية المفتوحة (OGC). وإن المشهد المتطور لمنظومة البيئة الحاضنة للمعلومات الجيومكانية يتأثر تأثراً كبيراً بالابتكارات التكنولوجية المتسارعة والتطورات الجيوسياسية والتوقعات المتغيِّرة للجهات المعنية أو ذات العلاقة

technological innovations, geopolitical developments, and changing stakeholder expectations. The OGC, recognizing these shifts, is proactively adapting its approach to meet the new market requirements and to remain effective.

OGC acknowledges the increasing prominence of open-source ecosystems and agile development practices, which have altered traditional expectations from standards-setting organizations. Stakeholders now demand quicker, iterative development cycles and more agile pathways for transitioning from innovation to standardized solutions. Simultaneously, geopolitical complexities and evolving regional data governance frameworks, including the EU Data Act and China's Cybersecurity Law, necessitate greater agility and adaptability to maintain global interoperability standards.

In response, OGC is undertaking a comprehensive modernization of its governance structures to enhance transparency, inclusivity, accountability, and agility. At the same time, OGC adapts its service offerings to the changing geospatial landscape by providing re-usable building blocks and foundational, pre-competitive solutions to enhance semantic interoperability. These changes are not a departure from the SDI model but a continuation of its core mission—updated to serve a more dynamic, distributed, and AI-integrated world. As with SDIs, aspects such as rapid adaptation to user needs, reusability of proven solutions, and the ability to integrate diverse actors remain paramount.

1) From SDIs to Geospatial Ecosystems with Data Spaces

The evolution from traditional Spatial Data Infrastructure (SDI) to modern geospatial ecosystems highlights a shift from simply providing data to actively using it to generate insights and services. This is crucial as it moves beyond basic accessibility to unlocking practical applications and economic value. The following breakdown categorizes the key shifts.

- **From SDIs to Geospatial Ecosystems with Data Spaces**

- **Traditional SDI Focus**: Primarily concerned with data availability, metadata, and standardized formats. It was about what data exists.
- **New Approach:** The focus shifts to how the data is used – creating valuable services and knowledge derived from it. This includes:

- **API-First Design:** Data is increasingly accessed and used through Application Programming Interfaces (APIs), allowing developers to build custom applications and services without needing to directly interact with the underlying data. This is about making data actionable.
- **Data as a Service (DaaS):** Instead of downloading data, users access pre- processed, analyzed, and integrated data streams.
- **Model as a Service (MaaS):** Provides access to pre-trained (analytical) models. Geospatial Analytics
- **Platforms:** State-of-the-art platforms and cloud- based solutions are increasingly used to provide ready-to-use geospatial analytics and insights.
- **Knowledge Graphs:** Moving beyond simple metadata, knowledge graphs link geospatial data with other relevant information (e.g., demographics, economic indicators, environmental factors) to create richer contextual understanding.

ومن خلال الوعي والإقرار بهذه التحولات يعمل اتحاد البيانات الجيومكانية المفتوحة على تكييف مناهج عمله بصورة استباقية لمقابلة وتلبية المتطلبات الجديدة للأسواق لكي تظل قادرة على الفعل والتفاعل.

إن اتحاد البيانات الجيومكانية المفتوحة يعي ويقر بحقيقة الأهمية المتزايدة لمنظومة البيئة الحاضنة ذات المصادر المفتوحة وممارسات التطوير السريع والتي أدت إلى تغيير التوقعات التقليدية التي تدلي بها المنظمات المختصة بوضع المعايير القياسية. أما الجهات المعنية والشركاء الأساسيين فقد أصبحوا الآن يطالبون بدورات تطوير تكرارية ذات سرعة أعلى بالإضافة إلى مسارات سريعة للانتقال من طور الابتكار إلى الحلول القياسية. وقد تزامن ذلك مع بعض التعقيدات الجيوسياسية والأطر الهادفة إلى حوكمة البيانات الآخذة في التبلور على مستويات إقليمية مثل قانون البيانات الذي أصدره الإتحاد الأوروبي وقانون دولة الصين للأمن السيبراني مما يستوجب

العمل بمزيد من السرعة وزيادة القدرة على التكيف لبقاء واستمرار المعايير القياسية لقابلية التشغيل المتبادل على مستوى العالم.

واستجابة لما سبق ذكره؛ يعمل اتحاد البيانات الجيومكانية المفتوحة حالياً على تحديث هياكل الحوكمة الخاصة به تحديثاً شاملاً يهدف إلى تعزيز الشفافية والشمولية والمساءلة والمحاسبة وسرعة الأداء. لكن اتحاد البيانات الجيومكانية المذكور يعمل في الوقت ذاته على تكييف عروض خدماته المقدمة للمشهد الجيومكاني المتغير من خلال العمل على تقديمه لبنات بناء أو وحدات أساسية قابلة لإعادة الاستعمال إضافة إلى حلول تأسيسية سابقة لمرحله العروض التنافسية لتعزيز قابلية التشغيل المتبادل المتعلق بدلالات المعاني اللغوية. وهذه التغيرات لا تعني الخروج التام على نموذج البنية التحتية للبيانات المكانية أو تعطيله بقدر ما تشير إلى بقاء واستمرار رسالته الأساسية - وذلك بعد تحديثه ليكون قادراً على خدمة عالم أكثر تكاملاً وديناميكية، مع كونه موزعاً، بفضل الذكاء الاصطناعي. إن بعض الجوانب مثل التكيف السريع مع احتياجات المستخدمين وإعادة استخدام الحلول المجرَّبة بنجاح والقدرة على الدمج والانسجام بين الفاعلين من مختلف المشارب تظل هي الأهم والأكثر حيويةً شأنها في ذلك شأن البنيات التحتية للبيانات المكانية.

- **من البنيات التحتية للبيانات المكانية إلى منظومات البيئة الحاضنة للمعلومات الجيومكانية المشتملة على حيز بيانات**

- **محور تركيز البنية التحتية التقليدية للبيانات المكانية:** وهو معني بالدرجة الأولى بتوفر البيانات وبيانات توصيف البيانات والصيغ القياسية المعتمدة. أي أن المحور كان مختصاً فقط بنوع البيانات المتوفرة.
- **المقاربة الأحدث:** تحول الاهتمام إلى كيفية استخدام البيانات - مما أدى لإيجاد خدمات قيمة ومعارف مستمدة منها؛ وقد صاحب ذلك ما يلي:

- **تصميم أولي لواجهة برمجة التطبيقات**: حدث تزايد في معدَّل الوصول إلى البيانات واستخدامها عبر واجهات برمجة التطبيقات (APIs)، مما أتاح للمطورين فرصة بناء التطبيقات والخدمات بما يناسب متطلباتهم دون أن يحتاجوا إلى التفاعل المباشر مع البيانات الأساسية؛ وهذا أمر يتعلق بالتفعيل العملي للبيانات.
- **النظر إلى البيانات كخدمة (Daas):** بدلاً من تحميل البيانات، يعمد المستخدمون إلى الدخول على مسارات البيانات التي خضعت للمعالجة المسبقة والتحليل والدمج التكاملي.
- **النظر إلى النموذج كخدمة (Maas):** وهذا يتيح إمكانية الوصول إلى النماذج (التحليلية) المسبقة التدريب.
- **منصات تحليلات جيومكانية:** وهذه المنصات هي المنصات الأحدث المعروفة في الوقت الحاضر وتتميز بإعطاء حلول مبنية على الحوسبة السحابية يجري استخدامها حالياً بشكل متزايد للوصول إلى تحاليل ومعارف جيومكانية جاهزة للاستخدام.
- **الشبكات المعرفية:** يقوم هذا النوع من الشبكات المعرفية بتخطي عملية توصيف البيانات البسيطة إلى ربط البيانات الجيومكانية بغيرها من المعلومات ذات الصلة (مثل الخصائص السكانية، والمؤشرات الاقتصادية، وعوامل البيئة) للوصول إلى فهم سياقي أوفر.

From Top-Down Government-Driven to Market-Driven & Coll aborative

- **Traditional SDI:** Typically mandated and controlled by government agencies, often with a focus on compliance and standardization.
- **New Approach:**
- **Decentralization and Federation:** We are moving away from a centralized SDI toward distributed networks where data providers retain control and autonomy. Though, while this shift fosters innovation and responsiveness to local needs, it remains important to carefully balance public interests, private sector incentives, and community engagement.
- **Private Sector Involvement:** Encouraging the private sector to build geospatial services and applications. This leverages market forces and expertise. Community-Based Data Initiatives: Supporting citizen science projects and community-led data initiatives. This expands data coverage and improves data relevance; however, reliability and quality assurance processes need to be addressed carefully. Open
- **Data Principles:** Promoting open licenses significantly democratizes access, enhances transparency, and accelerates innovation. For instance, governments making geospatial data freely available have spurred innovation in urban planning and environmental monitoring. On the other side, while openness drives innovation and transparency, robust data governance and equitable access frameworks are essential in many cases, as the data spaces concept clearly shows.

من الأعلى إلى الأدنى - من التحريك الحكومي إلى التحريك بآلية السوق وا لآلية التعاونية

- **البنية التحتية التقليدية للبيانات المكانية:** النمط النموذجي هو الإلزامية المطلقة والعمل تحت رقابة الجهات الحكومية مما يقود في كثير من الأحيان إلى التركيز على التقييد والالتزام التام والتوحيد القياسي.
- **المقاربة الأحدث:**
- **اللامركزية والرابطة الاتحادية:** نحن بصدد الابتعاد عن البنية التحتية المركزية للبيانات المكانية والاتجاه إلى شبكات الخطوط الموزَّعة التي يتمتع مزود البيانات فيها بنوع من السيطرة والاستقلالية. لكننا نضيف إلى ذلك أيضاً القول بأن هذه النقلة تعزز وتشجع الابتكار والتجديد وقابلية الاستجابة للاحتياجات المحلية إلا أنه من الواجب التمسك بالأهمية الثابتة والدقيقة للموازنة بين المصالح العامة من جهة وهدف العمل على تحفيز القطاع الخاص والشركات والانخراط المجتمعي من الجهة الأخرى.
- **مشاركه القطاع الخاص:** تشجيع القطاع الخاص على بناء الخدمات والتطبيقات الجيومكانية، فمن شأن ذلك أن يزيد من فعالية القوى المؤثرة في السوق ويكسبها مزيداً من الخبرات.
- • مبادرات البيانات المجتمعية المنشأ: هي عبارة عن جهود داعمة للمشروعات العلمية للمواطنين ومبادرات البيانات التي يقودها المجتمع. ومن شأن هذا التوجه أن يؤدي إلى تمدد في بيانات التغطية وتحسين مطابقة البيانات؛ وهو أمر يتطلب الدقة والحرص في تطبيق المعالجات الخاصة بالموثوقية وضمان الجودة.
- **المبادئ الخاصة بالبيانات المفتوحة:** لا شك في أن الترويج لمبدأ الترخيص بالتداول الحر للبيانات سيكون له أبلغ الأثر في حرية وتكافؤ فرص الوصول إلى البيانات، فضلاً عن كونه يعزز الشفافية ويسارع الخطى باتجاه التجديد والابتكار. ومن أمثلة ذلك أن الحكومات التي سمحت بمجانية الوصول إلى البيانات الجيومكانية أفلحت في استنهاض همم الابتكار في مجالات التخطيط الحضري ورقابة البيئة. ومن الناحية الأخرى لا بد من التذكير بأنه، مع الإقرار بفائدة الانفتاح في تقوية الابتكار وتعزيز الشفافية، إلا أنه لا غنى عن وجود الحوكمة الصارمة للبيانات وأطر الوصول العادل للبيانات لكونهما عاملين أساسيين للأداء في كثير من الحالات كما هو مفهوم لدينا بوضوح من واقع فكرة الفضاءات المفتوحة للبيانات.

Focus on User Needs & Accessibility

- **Traditional SDI:** Often designed by experts for experts, resulting in complex interfaces and technical jargon.
- **New Approach:**
- **User-Centric Design:** Designing geospatial services and interfaces with a deep understanding of user needs and workflows. This includes usability testing and iterative development.
- **Simplified Access:** Providing easy-to-use search and discovery tools that don't require specialized geospatial knowledge. Think of a "Google" for geospatial data. Data **Literacy Initiatives:** Investing in programs that improve data literacy and empower users to effectively use geospatial information.
- **Low-Code/No-Code Platforms:** These platforms empower non-technical users to develop custom geospatial applications, significantly lowering the barrier to entry. These platforms will play an increasingly important role in modern geospatial ecosystems, as they enable complex spatial analytics without extensive coding knowledge.

التركيز على احتياجات المستخدم وإمكانية الوصول

- **البنية التحتية التقليدية للبيانات المكانية:** كثيراً ما يتم تصميمها على يد خبراء لمصلحة خبراء آخرين فينتج عن ذلك الخروج بواجهات تبادل مركبة ومعقدة ولغة فنية تخصصية غير مفهومة.
- **المقاربة الأحدث:**
- **تصاميم الاستجابة للمستخدم:** بمعنى تصميم الخدمات وواجهات التبادل الجيومكانية بفهم عميق لاحتياجات المستخدمين وطرق سير العمل وهذا الأمر يشمل اختبار امكانية الاستخدام وتطوير وظيفة التشغيل المتكرر.
- **الدخول المبسط:** بمعنى توفير أدوات سهلة الاستعمال للبحث والاستكشاف لا يُحتاج فيها إلى معرفة تخصصية في المجالات الجيومكانية. يمكن؛ في هذا الصدد، التفكير في إيجاد نمط مشابه لنموذج جوجل يخصص للبيانات الجيومكانية.
- **مبادرات اكتساب المعرفة الأساسية بالبيانات:** أي الاستثمار في برامج تحسين المعرفة بالبيانات وتقوية قدرة المستخدمين على الاستخدام الفاعل للمعلومات الجيومكانية؛ بشفرة دخول مبسطة أو لا شفرة، مثلاً.
- **المنصات:** هذه المنصات تعين المستخدمين غير الفنيين على تطوير تطبيقات جيومكانية تتناسب مع قدراتهم واحتياجاتهم. سيكون لذلك أثر كبير في تذليل الحاجز الذي يعوق محاولات دخولهم إلى البيانات، كما سيكون لمثل هذه المنصات تأثير مهم يتزايد بشكل مطَّرِد على منظومات البيئة الحاضنة للمعلومات الجيومكانية الحديثة من حيث قدرتها على إيجاد وتفعيل عمليات التحليل المنطقي المكاني المعقدة دون حاجة إلى معرفة واسعة بمسائل الترميز أو التشفير.

• Leveraging New Technologies

- **Cloud Computing:** Migrating geospatial data and services to the cloud for scalability, cost-effectiveness, and accessibility.
- **Big Data Analytics:** Utilizing big data technologies to process and analyze massive geospatial datasets.
- **Machine Learning & AI:** Applying machine learning and AI to automate geospatial tasks, extract insights, and improve data quality. Examples include automated feature extraction from satellite imagery and predictive modeling for urban planning.
- **Internet of Things (IoT):** Integrating data from IoT devices (e.g., sensors, drones) to create real-time geospatial information.
- **Blockchain:** Utilizing blockchain technology could enhance data provenance, security, and trustworthiness, vital for robust and secure data sharing, such as verified land registry management systems. Its usage needs to consider sustainability and energy usage aspects.
- **Security and Privacy:** Addressing cybersecurity risks, data breaches, and privacy-preserving technologies (e.g., differential privacy, homomorphic encryption) is crucial for maintaining trust and integrity in geospatial ecosystems.

• Key challenges in the transition are certainly

- Inertia aspects: Overcoming the existing infrastructure and processes of traditional SDIs.
- **Data Governance:** Establishing clear data governance frameworks for decentralized data networks.
- **Sustainability:** Developing sustainable funding models for new geospatial ser vices. **Interoperability:** Ensuring that different geospatial data formats and platforms can work together.
- **Economic and Business Models:** Discussing monetization strategies for geospatial ecosystems, including public-private partnerships, and cost-benefit analysis of transitioning from SDIs is necessary to understand the economic implications.
- **Change Management and Capacity Building:** Transitioning to ecosystems requires organizational change strategies, training programs for participating organizations, and stakeholder engagement frameworks.
- **Environmental Impact:** Considering the carbon footprint of cloud computing, AI, and IoT is increasingly important for sustainable digital infrastructure.

- As a conclusion, it can be noticed that the transition from SDIs to geospatial ecosystems signifies a major advancement towards more dynamic, inclusive, and innovation-oriented approaches. Addressing highlighted gaps and weaknesses ensures these ecosystems are robust, ethically sound, economically viable, and environmentally sustainable, ultimately enhancing their societal impact and longevity.

• تعزيز التقنيات الجديدة

- **الحوسبة السحابية:** نقل البيانات والخدمات الجيومكانية إلى منصات أو أنظمة التشغيل السحابية لتميزها بمزايا القابلية للتوسيع، وفعالية التكلفة وسهولة الوصول.
- • التحليل المنطقي للبيانات الكبيرة الحجم: استخدام التقنيات المخصصة للبيانات الكبيرة الحجم لمعالجة وتحليل مجموعات البيانات الجيومكانية الضخمة.
- **التعلم الآلي والذكاء الاصطناعي:** تطبيق التعلم والذكاء الاصطناعي لتنفيذ المهام الجيومكانية آلياً والحصول على نتائج التحليل وتحسين الجودة النوعية للبيانات. ومن أمثلة ذلك استخراج المعالم آلياً من صور الأقمار الصناعية ووضع نماذج التشكيل المتوقع للتخطيط الحضري.
- **إنترنت الأشياء (IoT):** دمج البيانات المتحصلة من أجهزة إنترنت الأشياء (مثل أجهزة الاستشعار، والطائرات المسيرة) للحصول على المعلومات الجيومكانية الآنيَّة.
- **تقنية بلوك تشين (Blockchain) - قواعد البيانات الموزعة أو قاعدة البيانات اللامركزية:** إن استخدام التقنية المذكورة هنا يمكن أن يؤدي إلى تعزيز منشأ البيانات وأمنها وجدارتها بالثقة، وكلها عناصر حيوية لسلامة وأمن عملية تشارك البيانات، مثل نظم إدارة سجلات الأراضي المؤكدة بعد التوثيق. علماً بأن استخدام هذه التقنية يوجب النظر في الجوانب الخاصة بالاستدامة واستخدام الطاقة.
- **الأمن والخصوصية:** إن معالجة مخاطر الأمن السيبراني، وخروقات الحماية المضروبة على البيانات، وتقنيات المحافظة على الخصوصية (مثل الخصوصية التباينية، والتشفير التماثلي) تعد من الأمور البالغة الأهمية للمحافظة على النزاهة والثقة في المنظومة المستقبلية – البيئة الحاضنة- للمعلومات الجيومكانية.

• التحديات الأساسية التي تعترض الانتقال هي بلا شك كما يلي:

- **جوانب القصور الذاتي:** التغلب على البنية التحتية القائمة حالياً وإجراءات المعالجة الخاصة بالبنيات التحتية التقليدية للبيانات المكانية.
- **حوكمة البيانات:** تأسيس أطر واضحة لحوكمة البيانات مُوجَّهة لشبكات البيانات اللامركزية.
- **الاستمرارية:** تطوير نماذج مالية قابلة للاستمرار للخدمات الجيومكانية الجديدة.
- **قابلية التشغيل المتبادل:** التأكد من أن صيغ البيانات الجيومكانية المتباينة والمنصات الجيومكانية المختلفة يمكنها أن تعمل معاً بتناغم تام.
- **النماذج الاقتصادية ونمازج الأعمال التجارية:** إن مناقشة وبحث استراتيجيات تحويل النظم البيئية الجيومكانية إلى نقد، بما فيها شراكات بين الحكومة والقطاع الخاص، وتحليل التكلفة والعائد فيما يخص الانتقال من البنيات التحتية التقليدية للبيانات المكانية يعتبر أمراً ضرورياً لفهم الآثار الاقتصادية المترتبة على ذلك.
- **إدارة التغيير وبناء القدرات:** إن الانتقال إلى النظم البيئية يتطلب بلا شك وجود استراتيجيات للتغيير المؤسسي، وبرمجة تدريبية للمنظمات والهيئات المشاركة بالإضافة إلى أطر محددة لمشاركة الجهات المعنية.
- **التأثير على البيئة:** بالنظر إلى ظاهرة انبعاث ثاني أكسيد الكربون المرتبطة بالحوسبة السحابية، نجد أن الذكاء الاصطناعي وانترنت الأشياء يكتسبان أهمية متزايدة فيما يخص البنية التحتية المستدامة.

- وخلاصة الأمر أننا نلاحظ بوضوح أن الانتقال من البنيات التحتية التقليدية للبيانات المكانية إلى منظومات البيئة الحاضنة للمعلومات الجيومكانية يدل على حدوث تقدم كبير على طريق الأخذ بمقاربات أو مناهج عمل أكثر ديناميكية وشمولية تعمل باتجاه التجديد والابتكار. علماً بأن التصدي للفجوات وجوانب الضعف المشار إليها أعلاه ومعالجتها سيضمن لمنظومة البيئة الحاضنة للمعلومات الجيومكانية أن تكون قوية، وسليمة أخلاقياً، ولها جدوى اقتصادية واستدامة بيئية مما يؤكد قوة التأثير الاجتماعي وطول بقاء القدرة التشغيلية للمقاربات أو مناهج العمل المذكورة أعلاه في نهاية المطاف

2) Understanding Data Spaces

- As a relatively new paradigm, Data Spaces represent a significant shift in the methodologies of data sharing and utilization. The following explanation is structured to elucidate the core ideas, key characteristics, and distinctions from traditional approaches.
- The core idea is that a Data Space isn't just a repository of data; it's a managed ecosystem designed to enable secure, trusted, and value-generating data collaboration. It's about creating an environment where data owners retain control, users can access and combine data under agreed-upon conditions, and innovation can flourish. Think of it as a digital marketplace for data, but with a strong emphasis on fairness, trust, and sustainability. To be successful, data spaces need to be embedded into the wider geospatial ecosystem, i.e., draw and built from the underlying standards, policies, and best practices, while having the flexibility to agree on specific setups that meet the needs of the addressed business case(s).

- **Key Characteristics & Components:**

- **Data Sovereignty & Control:** The fundamental principle is that data owners retain ultimate control over their data. They decide who can access it, under what conditions, and for what purposes. This is a departure from scenarios where data is often siloed or subject to restrictive licenses.
- **Trust & Governance:** Data Spaces rely on robust governance mechanisms to ensure data quality, integrity, and compliance with legal and ethical requirements. This often involves defining clear roles and responsibilities, establishing data usage agreements, and implementing mechanisms for dispute resolution.
- **Interoperability:** Data Spaces facilitate seamless data exchange between different systems and organizations. This is achieved through standardized data formats, APIs, and communication protocols.
- **Dynamic Data Usage Agreements (DDUAs):** Unlike traditional licenses, DDUAs are flexible and adaptable. They can specify the specific purposes for which data can be used, the duration of access, and even the fees involved.
- **Technical Infrastructure:** A Data Space relies on underlying technical infrastructure to enable data discovery, access, and integration. This can include data catalogs, APIs, secure data sharing platforms, and blockchain technologies (though not always).

2) معنى حيز البيانات

- إن "حيز البيانات"، الذي يعتبر نموذجاً حديثاً نسبياً، يمثل نقلة مهمة في منهجيات تقاسم البيانات واستغلالها. التوضيح التالي تم إعداده وترتيبه لتجلية الأفكار الجوهرية، والخصائص الأساسية التي تميز "حيز البيانات" عن المقارنات أو طرف العمل التقليدية.
- ذلك بأن " حيز البيانات"، في جوهره، ليس مجرد مستودع للبيانات؛ بل هو منظومة مستقبلية للبيئة الحاضنة خاضع للإدارة والتوجيه ومصمم لغاية تحقيق عمليات توظيف البيانات توظيفاً تعاونياً مأموناً وموثوقاً وقادراً على تحقيق القيمة المطلوبة. وغاية الأمر هي ايجاد بيئة تمكن مالكو البيانات من الاحتفاظ بالسيطرة عليها، فيما يتمكن المستخدمون من الوصول إلى البيانات والجمع بينها وفقاً لشروط متفق عليها تؤدي إلى تحقيق طفرة في التجديد والابتكار.
- ولكم أن تتمثلوا الأمر على صورة سوق تجارية مخصصة للبيانات الرقمية فيها تأكيد قوي على العدالة والثقة والاستمرارية. ولضمان نجاح فضاءات حيز البيانات لابد من وضعها بطريقة راسخة داخل منظومة مستقبلية للبيئة الحاضنة للمعلومات الجيومكانية أوسع، أي بالصورة التي تمكنها من السحب والبناء على المعايير الأساسية، والسياسات، والممارسات التطبيقية المثلى مع امتلاك المرونة التي تمكنها من الاتفاق والتوافق حول بيانات تركيبية محددة قادرة على الوفاء باحتياجات حالة (أو حالات) العمل التجاري المراد معالجتها وحلها.

- **الخصائص والمكونات الأساسية:**

- **ملكية البيانات والسيطرة عليها:** القاعدة الأساسية هي احتفاظ الجهات المالكة للبيانات بالسيطرة عليها والتحكم فيها بشكل قاطع. ويكون ذلك بامتلاك القرار بشأن من يسمح له بالوصول إلى البيانات، وتحديد الشروط اللازمة لذلك والأغراض التي يسمح له بتحقيقها من وراء ذلك. وفي هذا خروج عن السيناريوهات التي يتم فيها حبس البيانات عن التداول في كثير من الأحيان أو يرخص بالوصول إليها تحت قيود مشددة.
- **الثقة والحوكمة:** تعتمد فضاءات حيز البيانات على آليات حوكمة قوية وصارمة لضمان الجودة النوعية، والنزاهة والتقيد بالاشتراطات القانونية والأخلاقية. ويتطلب ذلك في كثير من الحالات وضوحاً في تحديد المهام والمسؤوليات، وإيجاد اتفاقيات لاستخدام البيانات وتطبيق آليات لحل النزاعات.
- **قابلية التشغيل البيني المتبادل:** من خصائص فضاءات حيز البيانات أنها تيسر عملية تبادل البيانات بين النظم والمؤسسات المختلفة بسلاسة واستمرار. ويتم ذلك من خلال استخدام صيغ بيانات موحدة قياسياً، وواجهات برمجة التطبيقات (APIs)، وبروتوكولات الاتصال.
- **الاتفاقيات الديناميكية لاستخدام البيانات:** خلافاً للطرق التقليدية لمنح التراخيص، تتميز الاتفاقيات الديناميكية لاستخدام البيانات بالمرونة والقابلية للتكيف. إذ لهذا النوع من الاتفاقيات أن يشتمل على تحديد للأغراض المحددة التي يمكن استخدام البيانات للوصول إليها، والمدة المسموح بها للوصول إلى البيانات، بل حتى الرسوم المحددة لذلك.
- **البنية التحتية الفنية:** يعتمد حيز البيانات على البنية التحتية الفنية الأساسية في قدرته على على اكتشاف البيانات والوصول إليها ودمجها. وقد يشمل ذلك كتالوجات البيانات، وواجهات برمجة التطبيقات، والمنصات المأمونة لتقاسم البيانات، وتقنيات "بلوك تشين" (وهذه الأخيرة قد لا تكون لازمة في كل الحالات).

Semantic Interoperability: Data Spaces strive for more than just technical interoperability. They aim for semantic interoperability, meaning that data is understood and interpreted consistently across different contexts. This often involves using ontologies and controlled vocabularies.
Value Creation: The ultimate goal of a Data Space is to unlock the value hidden within data by enabling new insights, products, and services.

The Saudi Arabian National Geospatial Ecosystem (SANGE) was developed with these key characteristics as guiding principles. In its first year, it succeeded in establishing the necessary foundation in governance, standards, and extensible data models. See further information on https://geoportal.sa.

3) Integrating Essential Technical Components in Geospatial Ecosystems

This section provides essential clarity on how extensible data models, extract-transform- load (ETL) processes, microservices architecture, and data spaces not only support but significantly enhance the operational effectiveness, scalability, and flexibility of geospatial ecosystems, ensuring smooth and cost-efficient transition from legacy Spatial Data Infrastructure (SDI) environments to geospatial ecosystems.

• Extensible Data Models

Extensible data models are critical within modern geospatial ecosystems as they address the diverse and evolving requirements of participating organizations while simultaneously ensuring a high level of interoperability. Unlike traditional rigid data structures, extensible data models allow incremental enhancements without disrupting existing operations or data exchanges. They accommodate the specific semantic and functional needs of various stakeholders, enabling them to add custom fields or datasets that comply with standardized frameworks.

For example, extensible data models such as GeoJSON, JSON-FG, or extended OGC API standards enable organizations to include additional contextual information specific to their sector, such as environmental indicators, economic metrics, or infrastructure attributes, without losing the ability to integrate seamlessly within the broader ecosystem. Such flexibility is essential for maintaining the coherence of shared data environments, especially when responding to new challenges or technological advancements.

- **قابلية التشغيل البيني المتبادل بالدلالات اللغوية:** فضاءات حيز البيانات تعمل جاهدة لتحقيق ما يزيد عن مجرد قابلية التشغيل البيني المتبادل الفني. فهي تطمح إلى بلوغ قابلية التشغيل البيني المتبادل الذي يشمل الدلالات اللغوية، بمعنى أن يتحقق فهم البيانات وتفسيرها على نحو متطابق عبر جميع السياقات (اللغوية) على اختلافها. ويقتضي ذلك في كثير من الحالات استخدام مفاهيم عامة للمعرفة وحصائل لغوية منضبطة.
- **إبراز القيمة:** الغاية النهائية لأي حيز بيانات هي الكشف عن القيمة المخبأة في طي البيانات من خلال إيجاد رؤى عميقة وجديدة ومنتجات وخدمات جديدة كذلك.

لقد تم تطوير المنطو المستقبلية -البيئة الحاضنة – للمعلومات الجيومكانية للمملكة العربية السعودية باستصحاب هذه الخصائص الأساسية كمبادئ ارشادية موجِّهة للعمل. وقد نجحت المنظومة في عامها الأول في إرساء القواعد الأساسية اللازمة للحوكمة، والمعايير، ونماذج البيانات القابلة للتوسيع. لمزيد من المعلومات يمكن الدخول إلى الرابط التالي: http://geoportal.sa.

3) دمج وتكامل المكونات الفنية الأساسية في المنظومة المستقبلية – البيئة الحاضنة – للمعلومات الجيومكاني

يتضمن هذا القسم توضيحات مستفيضة حول كيفية قيام نمذجة البيانات القابلة للتوسع والتطوير، وعمليات الاستخراج والتحويل والتحميل (ETL)، والبنية الهيكلية للخدمات المصغرة أو الدقيقة، وحيز البيانات بدعم الفعالية التشغيلية وقابلية التوسع والمرونة في المنظومة المستقبلية – للبيئة الحاضنة – للمعلومات الجيومكانية وتعزيزها بشكل كبير، مما يضمن انتقالاً سلساً وفعالاً من حيث التكلفة من بيئات البنية التحتية للبيانات المكانية (SDI) القديمة إلى المنظومة المستقبلية – للبيئة الحاضنة – للمعلومات الجيومكانية.

• نماذج البيانات القابلة للتوسع والتطوير:

تعتبر نماذج البيانات القابلة للتوسع والتطوير ذات أهمية بالغة في المنظومة المستقبلية – للبيئة الحاضنة – للمعلومات الجيومكانية الحديثة، حيث أنها تلبي المتطلبات المتنوعة والمتطورة للجهات المشاركة، وفي نفس الوقت تعمل على ضمان مستوى عالٍ من قابلية التشغيل البيني المتبادل. وعلى عكس هياكل البيانات التقليدية الصارمة، فإن نماذج البيانات القابلة للتوسع والتطوير تسمح بإجراء تحسينات تدريجية دون تعطيل العمليات الجارية أو عمليات تبادل البيانات. وكذلك تلبي الاحتياجات الدلالية والوظيفية المحددة لمختلف الجهات ذات العلاقة، مما يتيح لهم إضافة حقول أو مجموعات بيانات مخصصة تتوافق مع الأطر الموحدة

فعلى سبيل المثال، نجد أن نماذج البيانات القابلة للتوسع والتطوير مثل GeoJSON أو JSON-FG أو معايير اتحاد البيانات الجيومكانية المفتوحة الخاصة بواجهة برمجة التطبيقات الموسعة تتيح للهيئات أو المؤسسات إدراج معلومات سياقية إضافية خاصة بالقطاع التابع لهم، مثل المؤشرات البيئية أو المقاييس الاقتصادية أو خصائص وسمات البنية التحتية، دون أن تفقد القدرة على الاندماج أو التكامل بصورة سلسة في منظومة البيئة الحاضنة الأوسع. هذه المرونة ضرورية للحفاظ على تماسك بيئات البيانات المشتركة، لا سيما عند الاستجابة للتحديات الجديدة أو التطورات التقنية.

فعلى سبيل المثال، نجد أن نماذج البيانات القابلة للتوسع والتطوير مثل GeoJSON أو JSON-FG أو معايير اتحاد البيانات الجيومكانية المفتوحة الخاصة بواجهة برمجة التطبيقات الموسعة تتيح للهيئات أو المؤسسات إدراج معلومات سياقية إضافية خاصة بالقطاع التابع لهم، مثل المؤشرات البيئية أو المقاييس الاقتصادية أو خصائص وسمات البنية التحتية، دون أن تفقد القدرة على الاندماج أو التكامل بصورة سلسة في منظومة البيئة الحاضنة الأوسع. هذه المرونة ضرورية للحفاظ على تماسك بيئات البيانات المشتركة، لا سيما عند الاستجابة للتحديات الجديدة أو التطورات التقنية.

cIn practice, these extensible models facilitate easier integration of innovative datatypes, including IoT sensor data, advanced analytics outputs, or even user-generated content from citizen science initiatives. As a result, geospatial ecosystems utilizing extensible data models can rapidly adapt to new scenarios, preserving the benefits of standardized interoperability while remaining flexible enough to serve varied organizational demands.

In our SANGE use case, all data models are extensible and have been developed following the described modeling approach. They have been socialized with all custodians of the 15 foundation themes to enable solid extension pathways for bi- directional data exchange. That way, evolving requirements from both data producers and consumers can be continuously addressed.

- **Extract-Transform-Load (ETL) Engines**

ETL (Extract-Transform-Load) engines play a pivotal role in transitioning existing geospatial systems into modern ecosystems. Organizations often have extensive legacy data systems and applications, which, while valuable, typically adhere to older or incompatible standards. ETL tools streamline the integration of these disparate data sources, ensuring seamless connectivity and minimal disruption to ongoing operations.

The significance of ETL processes in geospatial ecosystems lies in their ability to translate legacy data formats into standardized, interoperable schemas with minimal changes required in the original systems. By efficiently extracting data from existing systems, transforming it to conform to ecosystem standards, and loading it into integrated platforms, ETL solutions reduce costs, minimize transition risks, and accelerate implementation timelines.

Practical applications include migrating historical geospatial databases to cloud- based data spaces, enabling legacy GIS systems to feed real-time data analytics platforms, and ensuring seamless integration of governmental geospatial data with emerging private sector applications. The cost-effective and efficient nature of ETL processes makes them indispensable for rapidly scaling ecosystem participation, particularly in contexts like national-level initiatives, smart city platforms, and emergency response systems.

- **Microservices Architecture**

The microservices architectural approach significantly enhances the agility, scalability, and resilience of geospatial ecosystems. By decomposing traditional monolithic applications into smaller, independently deployable services, organizations gain flexibility in managing, upgrading, and scaling individual components without disrupting the entire system. Each microservice encapsulates specific functionality, such as data storage, spatial analytics, or metadata management, and interacts with other services through standardized, lightweight APIs.

Within geospatial ecosystems, microservices architecture facilitates rapid innovation and continuous deployment. Stakeholders can introduce or replace specialized services quickly, adapting to evolving user demands and technological developments. For instance, one microservice might handle real-time spatial

وعلى الصعيد العملي، فإن هذه النماذج القابلة للتوسع والتطوير تعمل على تسهيل دمج وتكامل أنواع البيانات المبتكرة، بما في ذلك البيانات المتحصلة بواسطة أجهزة استشعار إنترنت الأشياء، ونتائج التحليلات المتقدمة، أو حتى المحتوى الذي ينشئه المستخدمون من مبادرات العلوم المدنية. ونتيجة لذلك، يمكن للمنظومة المستقبلية للبيئة الحاضنة للمعلومات الجيومكانية التي تستخدم نماذج البيانات القابلة للتوسع والتطوير أن تتكيف وتتأقلم بسرعة مع السيناريوهات الجديدة، مع المحافظة على مزايا قابلية التشغيل البيني المتبادل الموحدة بأن تظل مرنة بما يكفي لتلبية المتطلبات المتنوعة للمؤسسات أو الهيئات

ففي حالة الاستخدام الخاصة بالمنظومة المستقبلية – للبيئة الحاضنة – للمعلومات الجيومكانية الوطنية السعودية (SANGE)، نجد أن جميع نماذج البيانات قابلة للتوسع والتطوير والتوسع قد تم تطويرها باتباع طريقة النمذجة التي تم توضيحها. وقد تم تعميمها على جميع الجهات المالكة للطبقات الأساسية الخمسة عشر لتمكين مسارات توسيع قوية لتبادل البيانات الثنائية الاتجاه. وبهذه الطريقة، يمكن الاستجابة باستمرار لتلبية الاحتياجات والمتطلبات المتطورة لكل من منتجي البيانات ومستهلكيها.

- **محركات الاستخراج والتحويل والتحميل (ETL)**

دوراً محورياً (ETL) تلعب محركات الاستخراج والتحويل والتحميل في تحويل النظم الجيومكانية الحالية إلى منظومة حديثة للبيئة الحاضنة – للمعلومات الجيومكانية. غالباً ما تمتلك المؤسسات أو الهيئات أنظمة وتطبيقات بيانات قديمة واسعة النطاق، والتي على الرغم من قيمتها، إلا أنها عادةً ما تلتزم بمعايير قديمة أو غير على (ETL) متوافقة. فتعمل أدوات الاستخراج والتحويل والتحميل تبسيط تكامل مصادر البيانات المختلفة، مما يضمن اتصالاً وربطاً سلساً وبالتالي خفض زمن تعطل العمليات الجارية إلى الحد الأدنى

تكمن أهمية عمليات الاستخراج والتحويل والتحميل (ETL) بالنسبة للمنظومة المستقبلية – للبيئة الحاضنة – للمعلومات الجيومكانية في قدرتها على تحويل صيغ البيانات القديمة إلى صيغ موحدة وقابلة للتشغيل البيني المتبادل مع إدخال الحد الأدنى من التغييرات المطلوبة في الأنظمة الأصلية. ومن خلال استخراج البيانات بكفاءة من الأنظمة الحالية، وتحويلها لتتوافق مع معايير المنظومة المستقبلية – للبيئة الحاضنة – للمعلومات الجيومكانية، وتحميلها على منصات متكاملة، وبذلك تقلل حلول محركات الاستخراج والتحويل والتحميل (ETL) التكاليف، وتقلل من مخاطر الانتقال، وتعمل على تسريع جداول التنفيذ.

تشمل التطبيقات العملية ترحيل قواعد البيانات الجيومكانية التاريخية إلى فضاءات حيز البيانات المستندة إلى التقنية السحابية، مما يتيح لنظم المعلومات الجغرافية (GIS) القديمة تغذية منصات تحليل البيانات في الوقت الفعلي، وكذلك تضمن التكامل السلس للبيانات الجيومكانية الحكومية مع تطبيقات القطاع الخاص الناشئة. إن الطبيعة الفعالة من حيث التكلفة والكفاءة لعمليات الاستخراج والتحويل والتحميل (ETL) تجعلها لا غنى عنها لتوسيع نطاق المشاركة في منظومة البيئة الحاضنة بسرعة، لا سيما في سياقات مثل المبادرات على المستوى الوطني ومنصات المدن الذكية وأنظمة الاستجابة للطوارئ.

- **بنية وهيكلة الخدمات الصغيرة**

تعزز مقاربة بنية الخدمات الصغيرة بشكل كبير من مرونة المنظومة المستقبلية – للبيئة الحاضنة – للمعلومات الجيومكانية وقابليتها للتوسع ومرونتها. من خلال تقسيم التطبيقات التقليدية المتجانسة إلى خدمات أصغر حجماً وقابلة للنشر بشكل مستقل، تكتسب الهيئات أو المنظمات مرونة في إدارة المكونات الفردية وترقيتها وتوسيع نطاقها دون تعطيل النظام بأكمله. تحتوي كل خدمة صغيرة على وظيفة محددة، مثل تخزين البيانات أو التحليلات المكانية أو إدارة البيانات الوصفية، وتتفاعل مع الخدمات الأخرى من خلال واجهات برمجة تطبيقات قياسية وخفيفة الوزن.

analytics leveraging AI models, another could manage metadata and semantic annotations, while yet another orchestrates data sovereignty and usage agreements within data spaces.

In practical implementations, microservices enhance resilience by isolating faults within individual services, thus preventing system-wide outages. They also allow for incremental and granular scaling, allocating additional resources only where necessary—for example, during peak periods of data ingestion from IoT sensors during disaster events or seasonal environmental monitoring activities.

In SANGE, we learned that microservice architectures are best suited to meet the demands of the various data custodians. An API pipeline has been developed in consultation with the custodians to be delivered through the microservice architecture. This continuous exchange with data producers and consumers is critical for a sustainable geospatial ecosystem, as it allows for adaptation to changing needs and to exploit state-of-the-art analytical technologies without putting too much burden on existing operational systems.

- ## Data Cubes for Performant Analysis at Scale

Data cubes are critical to achieving high-performance analytics in geospatial ecosystems, particularly when handling extensive and complex spatiotemporal datasets. These multidimensional data structures are specifically designed to efficiently store, retrieve, and analyze data across multiple dimensions, including space, time, and thematic attributes. Data cubes provide a coherent and integrated framework that enables rapid, sophisticated analytical queries and ensures scalability.

In practice, data cubes unify various data streams—such as satellite imagery, sensor observations, and vector datasets—into a single, optimized analytical environment. This approach drastically reduces processing times, improves query performance, and enhances the responsiveness of data-driven applications. For instance, data cubes significantly accelerate tasks like change detection in land use patterns, predictive modeling of environmental phenomena, or real-time monitoring of urban infrastructure.

Within geospatial ecosystems, data cubes serve as a foundational analytical backbone, enabling efficient and scalable interoperability among stakeholders. They simplify the complex process of data integration by providing structured, analytics-ready data, thus facilitating seamless collaboration across diverse domains. Data cubes ensure that ecosystem actors, from government agencies to private enterprises, can leverage consistent, high-quality data for advanced analytical purposes, thereby supporting informed decision-making and rapid response capabilities. Furthermore, their structured nature allows for streamlined

ومن خلال المنظومة المستقبلية للبيئة الحاضنة للمعلومات الجيومكانية تعمل بنية الخدمات الصغيرة على تسهيل عمليات الابتكار السريع والنشر المستمر، يمكن للجهات المعنية إدخال أو استبدال الخدمات المتخصصة بسرعة، والمواءمة مع متطلبات المستخدمين المتطورة والتطورات التقنية. على سبيل المثال، قد تتعامل إحدى الخدمات الصغيرة مع التحليلات المكانية في الوقت الآني باستخدام نماذج الذكاء الاصطناعي، بينما قد تتعامل خدمة أخرى مع البيانات الوصفية والدلالات اللغوية، في حين تعمل خدمة ثالثة على تنسيق اتفاقيات الاستخدام وملكية البيانات واستخدامها داخل فضاءات حيز البيانات.

فمن ناحية التطبيقات العملية، تعمل الخدمات الصغيرة على تعزيز المرونة من خلال عزل الأعطال التي تحدث في الخدمات الفردية، وبالتالي منع انقطاع الخدمة على مستوى النظام. كما أنها تسمح بالتوسع المتدرج والتفصيلي، وتخصيص موارد إضافية فقط عند الضرورة -على سبيل المثال لا الحصر- خلال فترات الذروة لمعالجة البيانات من أجهزة استشعار إنترنت الأشياء أثناء الكوارث أو أنشطة المراقبة البيئية الموسمية.
في المنظومة المستقبلية للبيئة الحاضنة للمعلومات الجيومكانية الوطنية السعودية (SANGE)، تعلمنا أن بنى الخدمات الصغيرة هي الأنسب لتلبية متطلبات مختلف مالكو البيانات. وتم تطوير واجهة برمجة التطبيقات (API) مرحلية بالتشاور مع مالكي البيانات ليتم تسليمها من خلال بنية الخدمات الصغيرة. هذا التبادل المستمر مع منتجي البيانات ومستهلكيها، أمر بالغ الأهمية لإيجاد منظومة مستقبلية للبيئة الحاضنة للمعلومات الجيومكانية مستدامة، حيث أن ذلك يسمح لها بالتأقلم مع الاحتياجات المتغيرة واستخدام أحدث التقنيات التحليلية دون إضافة عبء كبير على الأنظمة التشغيلية الحالية.

- ## مكعبات البيانات لتحليل الأداء على نطاق واسع

تعد مكعبات البيانات من الأمور البالغة الأهمية لتحقيق تحليلات عالية الأداء في المنظومة المستقبلية للبيئة الحاضنة للمعلومات الجيومكانية، لا سيما عند التعامل مع مجموعات البيانات المكانية - الزمانية الواسعة النطاق والمعقدة. تم تصميم هياكل البيانات متعددة الأبعاد هذه خصيصًا لتخزين البيانات واسترجاعها وتحليلها بكفاءة عبر أبعاد متعددة، تشمل المكان والزمان والصفات الموضوعية. توفر مكعبات البيانات إطاراً متماسكاً ومتكاملاً يتيح إجراء استعلامات تحليلية سريعة ومتطورة ويضمن قابلية التوسع.
من ناحية الممارسة العملية، تعمل مكعبات البيانات على توحيد مختلف تدفقات البيانات — مثل الصور الفضائية وعمليات رصد أجهزة الاستشعار ومجموعات البيانات المتجهة — في بيئة تحليلية واحدة ومُحسّنة. وتؤدي هذه الطريقة إلى تقليل أوقات المعالجة بشكل كبير، وتحسين أداء الاستعلامات، وتعزيز استجابة التطبيقات المستندة على البيانات. على سبيل المثال، تعمل مكعبات البيانات على تسريع مهام مثل الكشف عن التغييرات في أنماط استخدام الأراضي، والنمذجة التنبؤية للظواهر البيئية، أو المراقبة الآنية للبنية التحتية الحضرية.

integration of GeoAI techniques, fostering continuous innovation and adaptation within geospatial ecosystems.

The role of data cubes will be briefly explained here using the example of the Saudi Arabian National Geospatial Ecosystem (SANGE), driven by the General Authority for Survey and Geospatial Information (GEOSA), which exemplifies how spatial data cubes serve as critical infrastructure within a national-level geospatial initiative. Specifically, the Saudi Spatial Data Cube is envisioned as the analytical backbone of SANGE, enabling efficient storage, retrieval, and analysis of the Kingdom's extensive spatial and temporal datasets. As a central repository, it supports sovereign control and independent management of sensitive geospatial data assets, ensuring national security and reducing dependence on external providers. The cube's strategic value within SANGE arises from its capacity to integrate seamlessly with advanced AI platforms, notably HUMAIN, Saudi Arabia's flagship AI initiative aimed at positioning the Kingdom as a global leader in artificial intelligence.

For SANGE, the spatial data cube functions as more than just a storage system; it actively powers various national priorities, including economic diversification, infrastructure monitoring, and sustainable environmental management. By coupling the data cube infrastructure with AI technologies, Saudi Arabia will enhance its ability to perform sophisticated analyses such as land-use monitoring, urban growth forecasting, infrastructure risk assessment, and environmental conservation efforts. Furthermore, through initiatives like HUMAIN, the data cube's robust and structured data provision accelerates the development of advanced Arabic language AI models and multimodal AI systems. This symbiotic relationship between the data cube, AI, and the broader geospatial ecosystem highlights the cube's transformative potential, embedding deep spatial intelligence into national decision-making processes, policy formulation, and governance strategies, thus significantly advancing Saudi Arabia's Vision 2030 goals.

وفي جانب المنظومة المستقبلية للبيئة الحاضنة للمعلومات الجيومكانية، تكون مكعبات البيانات بمثابة عمود فقري للقيام بعمليات للتحليل الأساسي، مما يتيح إمكانية التشغيل البيني المتبادل الفعال والقابل للتطوير بين الأطراف المعنية. وكذلك هي تبسط المعالجات المعقدة لتكامل البيانات من خلال توفير بيانات منظمة وجاهزة للتحليل، مما يسهل التعاون السلس عبر مجالات متنوعة. وتضمن مكعبات البيانات أن تتمكن الجهات الفاعلة في المنظومة المستقبلية للبيئة الحاضنة للمعلومات الجيومكانية، من الجهات والهيئات الحكومية والشركات الخاصة، من الاستفادة من بيانات متسقة وعالية الجودة لأغراض تحليلية متقدمة، مما يدعم اتخاذ قرارات مستنيرة وقدرات الاستجابة السريعة. علاوة على ذلك، تسمح طبيعتها المنظمة بتكامل تقنيات الذكاء الاصطناعي الجيومكاني (GeoAI) بشكل مبسط، مما يعزز الابتكار والتكيف المستمرين داخل المنظومة المستقبلية للبيئة الحاضنة للمعلومات الجيومكانية.

سيتم شرح دور مكعبات البيانات بإيجاز هنا باستخدام نموذج المنظومة المستقبلية للبيئة الحاضنة للمعلومات الجيومكانية الوطنية السعودية (SANGE)، التي تديرها الهيئة العامة للمسح والمعلومات الجيومكانية (GEOSA)، وحيث توضح هذه المنظومة كيف تعمل مكعبات البيانات المكانية كبنية تحتية أساسية ضمن المبادرة الجيومكانية على المستوى الوطني. على وجه التحديد، يُنظر إلى مكعبات البيانات المكانية السعودية على أنها العمود الفقري التحليلي للمنظومة المستقبلية للبيئة الحاضنة للمعلومات الجيومكانية الوطنية السعودية (SANGE)، مما يتيح عملية تخزين واسترجاع مجموعات البيانات المكانية -الزمانية الواسعة النطاق للمملكة وتحليلها بصورة فعالة. وباعتبار مكعبات البيانات مستودعاً مركزياً، فإنها تدعم التحكم في ملكية أصول البيانات الجيومكانية الحساسة وإدارتها بصورة مستقلة، مما يضمن المحافظة على الأمن القومي وتقليل الاعتماد على الموردين الخارجيين. تنبع القيمة الاستراتيجية للمكعب داخل المنظومة المستقبلية للبيئة الحاضنة للمعلومات الجيومكانية الوطنية السعودية (SANGE) من خلال قدرته على الاندماج بسلاسة مع منصات الذكاء الاصطناعي المتقدمة، ولا سيما الشركة السعودية للذكاء الاصطناعي (HUMAIN)، وهي مبادرة الذكاء الاصطناعي الرائدة في المملكة العربية السعودية التي تهدف إلى وضع المملكة في مكانة رائدة عالمياً في مجال الذكاء الاصطناعي.

بالنسبة للمنظومة المستقبلية للبيئة الحاضنة للمعلومات الجيومكانية الوطنية السعودية (SANGE)، فإن مكعبات البيانات المكانية لا تعمل فقط كنظام تخزين؛ بل إنها تدعم الأولويات الوطنية المختلفة بشكل فعال، بما في ذلك تنويع الاقتصاد، ومراقبة البنية التحتية، والإدارة البيئية المستدامة. من خلال ربط البنية التحتية لمكعب البيانات بتقنيات الذكاء الاصطناعي، ستعزز المملكة العربية السعودية قدرتها على إجراء تحليلات متطورة مثل مراقبة استخدام الأراضي، وتوقعات النمو الحضري، وتقييم مخاطر البنية التحتية، وجهود الحفاظ على البيئة. علاوة على ذلك، من خلال مبادرات مثل شركة هيومين (HUMAIN)، تسهم البيانات القوية والمنظمة التي يوفرها مكعب البيانات في تسريع تطوير نماذج متقدمة للذكاء الاصطناعي باللغة العربية وأنظمة الذكاء الاصطناعي متعددة الوسائط. تسلط هذه العلاقة التعاضدية بين مكعب البيانات والذكاء الاصطناعي والمنظومة المستقبلية للبيئة الحاضنة للمعلومات الجيومكانية الضوء على الإمكانات التحويلية للمكعب، حيث تدمج الذكاء المكاني العميق في عمليات اتخاذ القرارات الوطنية وصياغة السياسات واستراتيجيات الحوكمة، مما يساهم بشكل كبير في تحقيق أهداف رؤية المملكة العربية السعودية 2030.

4) Reimagining Standards & Interoperability

The Open Geospatial Consortium (OGC) has recognized a fundamental change in the requirements for modern standardization and has set the course accordingly. OGC has begun transitioning to a more dynamic and flexible standardization framework. In fact, the OGC is pioneering a novel approach to standardization that fundamentally reshapes how data spaces are constructed and utilized. This new methodology moves beyond traditional methods by integrating community-driven ontologies with online registers and dynamically built knowledge graphs. This approach aims to seamlessly connect all essential components within a data space, ensuring a holistic view of data resources and their associated context. Once fully established, the framework will allow for the linking of data with critical legal information, including licenses and detailed provenance data.

This provenance extends from understanding the complete lifecycle of a data product – from the initial sampling strategy for raw data to comprehensive descriptions of all processing steps, down to the specific vocabularies employed. Crucially, the future system will incorporate dynamic mapping capabilities between different vocabularies, ensuring consistent terminology management across diverse domains. A key strength of this new approach lies in its ability to establish robust identifier regimes, allowing for the unique identification of real-world objects, even when attributed with seemingly disparate datasets originating from different communities. This fosters interoperability and allows for a unified understanding of entities across previously isolated data landscapes.

The OGC's new standardization approach isn't just about defining what data should look like; it’s also fundamentally changing how that definition is validated and maintained. Alongside the development of canonical specifications and schemas, OGC is establishing a robust, continuously evolving, and highly automated continuous integration and testing environment. This isn’t merely a testing suite; it's envisioned as the very backbone of the future interoperability system. This environment leverages automated build pipelines, comprehensive regression testing, and a collaborative platform for developers and testers alike.

4) إعادة صياغة المعايير وقابلية التشغيل البيني المتبادل

من المسلم به أن اتحاد البيانات الجيومكانية المفتوحة (OGC) أقر بحقيقة التغيير الجوهري في متطلبات التقييس الحديث وخط له مسارًا يتماشى مع ذلك. بدأ اتحاد البيانات الجيومكانية المفتوحة (OGC) في الانتقال إلى إطار تقييس أكثر ديناميكية ومرونة. في الواقع، يعتبر اتحاد البيانات الجيومكانية المفتوحة (OGC) رائدًا في نهج جديد للتقييس يعيد تشكيل طريقة إنشاء فضاءات حيز البيانات واستخدامها بشكل جذري. تتجاوز هذه المنهجية الجديدة الأساليب التقليدية من خلال دمج السياقات اللغوية التي تقودها المجتمعات مع السجلات عبر الإنترنت والرسوم البيانية المعرفية المبنية ديناميكياً. تهدف هذه الطريقة إلى ربط جميع المكونات الأساسية داخل حيز البيانات بسلاسة، مما يضمن رؤية شاملة لموارد البيانات والسياق المرتبط بها. وبمجرد الانتهاء من إنشاء هذا الإطار، سيسمح بربط البيانات بالمعلومات القانونية الهامة، بما في ذلك التراخيص وبيانات المصدر أو المنشأ التفصيلية.

ويمتد هذا المصدر أو المنشأ من فهم دورة حياة منتج البيانات بالكامل – من استراتيجية أخذ العينات الأولية للبيانات الأولية إلى الأوصاف الشاملة لجميع خطوات المعالجة، وصولاً إلى المفردات المحددة المستخدمة. والأهم من ذلك، أن المنظومة المستقبلية ستتضمن قدرات تخطيط ديناميكية بين المفردات المختلفة، مما يضمن إدارة متسقة للمصطلحات عبر مجالات متنوعة. وتكمن إحدى نقاط القوة الرئيسية لهذه الطريقة الجديدة في قدرتها على إنشاء أنظمة تعريف قوية، مما يسمح بالتعريف الفريد للمعالم في العالم الحقيقي، حتى ولو نسبت إلى مجموعات بيانات تبدو متباينة ومختلفة مصدرها مجتمعات مختلفة. وهذا يعزز قابلية التشغيل البيني المتبادل ويسمح بفهم موحد للكيانات عبر بيئات البيانات التي كانت معزولة في السابق.

لا يقتصر نهج التقييس الجديد الذي يتبعه اتحاد البيانات الجيومكانية المفتوحة (OGC) على تحديد شكل البيانات فحسب، بل إنه يغير بشكل جذري طريقة التحقق من صحة هذا التعريف والمحافظة عليه. إلى جانب تطوير المواصفات والمخططات القياسية، يعمل اتحاد البيانات الجيومكانية المفتوحة (OGC) على إنشاء بيئة تكامل واختبار مستمرة قوية ومتطورة باستمرار وذات درجة عالية من الأتمتة.

The system is designed to continuously evaluate implementations against the specifications, identifying and resolving inconsistencies early in the development process. This includes not only verifying that data conforms to the defined schemas but also ensuring that software adhering to the specifications can seamlessly exchange and process information, regardless of the underlying technologies. The ongoing nature of this testing regime fosters a proactive approach to interoperability, reducing the risk of fragmentation and ensuring the long-term viability of the OGC standards. Furthermore, the public and collaborative nature of the testing environment encourages community involvement, allowing developers and users to contribute to the refinement and validation of the specifications, accelerating the pace of innovation and bolstering the robustness of the interoperability ecosystem.

These technical infrastructures still need to be fully developed and complemented with a robust governance model that allows variety. Every community will be able to operate its own online registers, vocabularies, and other resources, such as processing components and dynamic mappings between semantic resources. At the end, the operational infrastructure will be raised to the same level of importance as the actual development of canonical specifications. Together, both will lead to a new quality of data integration and interoperability.

هذه البيئة ليست مجرد مجموعة اختبارات، بل إنها تُعتبر العمود الفقري لنظام التشغيل البيني المتبادل في المستقبل. تستفيد هذه البيئة من خطوط الإنتاج الآلية واختبارات التراجع أو الارتداد الشاملة ومنصة تعاونية للمطورين والمختبرين على حد سواء. تم تصميم النظام لتقييم التطبيقات باستمرار وفقًا للمواصفات، وتحديد وحل عدم التناسق في مرحلة مبكرة من عملية التطوير. وهذا لا يشمل فقط التحقق من مطابقة البيانات للمخططات المحددة، بل يشمل أيضًا ضمان أن البرمجيات التي تلتزم بالمواصفات يمكنها تبادل المعلومات ومعالجتها بسلاسة، بغض النظر عن التقنيات الأساسية. تعزز الطبيعة المستمرة لنظام الاختبار هذه مقاربةً استباقيةً لقابلية التشغيل البيني المتبادل، مما يقلل من مخاطر التجزئة ويضمن استمرارية معايير اتحاد البيانات الجيومكانية المفتوحة (OGC) على المدى الطويل. علاوة على ذلك، فإن الطبيعة العامة والتعاونية لبيئة الاختبار تشجع مشاركة المجتمع، مما يسمح للمطورين والمستخدمين بالمساهمة في تحسين المواصفات والتحقق من صحتها، مما يسرع وتيرة الابتكار ويعزز متانة منظومة البيئة الحاضنة للتشغيل البيني المتبادل.

لا تزال هذه البنى التحتية التقنية بحاجة إلى تطوير كامل ومن ثم استكمالها بنموذج حوكمة قوي يسمح بالتنوع. سيتمكن كل مجتمع من إدارة سجلاته ومفرداته وموارده الأخرى عبر الإنترنت، مثل مكونات المعالجة والتخطيطات الديناميكية بين الموارد الدلالية. في النهاية، سترتقي البنية التحتية التشغيلية إلى نفس مستوى أهمية التطوير الفعلي للمواصفات القياسية. وسيؤدي كلاهما معًا إلى جودة جديدة في تكامل البيانات وقابليتها للتشغيل البيني المتبادل.

5) Executive Summary

The geospatial information domain is undergoing a profound transformation, driven by rapid technological innovation, exponential data growth, and increasing societal demands for timely, trustworthy, and actionable insights. This evolution is marked by a

5) الخلاصة:

يمر حقل المعلومات الجيومكانية حالياً بمرحلة تحول عميقة تدفعها الابتكارات والابداعات التكنولوجية المتسارعة، والنمط المطرد للبيانات ،والطلب الاجتماعي المتزايد في الحصول على المعلومات ذات الرؤى الموثوقة والقابلة للتنفيذ والتي ترد في وقتها.

shift from traditional, static Spatial Data Infrastructures (SDIs) to dynamic geospatial ecosystems. A geospatial ecosystem is a flexible, scalable, and inclusive system that integrates people, technologies, data, standards, and governance models to enable the dynamic aggregation, analysis, and application of geospatial information. It is characterized by:

- **Interoperability:** Seamless integration of diverse data sources and systems.
- **Data Sovereignty:** Control remains with data owners, supported by trusted data spaces.
- **Semantic Clarity:** Use of linked data and knowledge graphs to ensure consistent meaning and traceability.
- **Scenario-Centric Design:** Focused on solving specific, real-world problems rather than generic data provision.
- **Agility and Scalability:** Ability to rapidly adapt to new technologies, policies, and user needs. **Inclusivity:** Engagement of a wide range of stakeholders, including non-experts via low-code/no-code tools.
- **Sustainability:** Consideration of environmental, economic, and social impacts.
- **AI-Readiness:** Enabled for direct consumption by AI agents and models

From a governance perspective, we find data spaces at the heart of this transformation— trusted, interoperable frameworks that enable secure, sovereign data sharing across sectors without relinquishing ownership. These spaces embed principles of decentralization, semantic clarity, and governance, fostering collaboration while ensuring data integrity and compliance.

From a technical perspective, we find linked data principles and semantic annotation moving into focus. These principles enable semantic interoperability and form the basis for integrity, provenance, and trust by embedding various resources, such as data, code, definitions, examples, schemas, libraries, and other elements into graphs. Semantic interoperability is, in turn, an important prerequisite for improved data search and integration and is therefore fundamental to the successful application of artificial intelligence.

Unlike existing spatial data infrastructures, geospatial ecosystems are no longer content with simply paving the way to data. Instead, the focus is increasingly shifting to data analysis. Data cubes, therefore, have a special role to play. These multidimensional data structures organize spatiotemporal data, such as satellite imagery, sensor feeds, and vector data, into unified, queryable formats. Data cubes can serve as the analytical backbone of modern geospatial ecosystems by enabling efficient storage, retrieval, and analysis of large-scale spatiotemporal datasets. This allows minimizing typical weak points in distributed service environments, where data must first be collected for analysis.

ويتميز هذا التطور بدفعة تنتقل به من حالة السكون أو الركود التي تتسم بها البنى التحتية للبيانات المكانية (SDI) التقليدية والثابتة إلى المنظومة المستقبلية – للبيئة الحاضنة – للمعلومات الجيومكانية الشديدة الحركة. وأن المنظومة المستقبلية – للبيئة الحاضنة – للمعلومات الجيومكانية هي عبارة عن بيئة شاملة ومرنة وقابلة للترقية جامعة للأشخاص البشريين، والتقنيات، والبيانات، والمعايير، ونماذج الحوكمة في تكتل يؤدي إلى إيجاد حشد ديناميكي وتحليل وتطبيق للمعلومات الجيومكانية. ويتميز ذلك بالصفات الآتية:

- **قابلة للتشغيل البيني المتبادل:** التكامل السلس الذي يجمع بين مصادر وأنظمة بيانات متباينة.
- **ملكية البيانات:** بقاء واستمرار سيطرة ملاك البيانات على بياناتهم، مستندين في ذلك إلى فضاءات حيز بيانات موثوقة.
- **وضوح الدلالات اللغوية:** استخدام رسوم بيانية أو مخططات مترابطة للبيانات والمعرفة لضمان تناسق وانسجام المعني وإمكانية البحث والاستقصاء.
- **التصميم المرتكز على السيناريو:** ويكون التركيز هنا على حل المشكلات المحددة التي تلامس الواقع بدلاً من تقديم البيانات المعممة.
- **المرونة والقابلية للترقية:** القدرة على التكيف السريع مع التقنيات الجديدة، والسياسات واحتياجات المستخدمين.
- **إشراك الجميع:** استقطاب وضم شرائح واسعة من الجهات ذات العلاقة، بما يشمل الشرائح التي تنقصها الخبرة من خلال الأدوات والآليات ذات التشفير المبسط أو الخالية من التشفير.
- **الاستدامة والاستمرارية:** مراعاة الآثار البيئية والاقتصادية والاجتماعية.
- **الجاهزية للذكاء الاصطناعي:** تفعيل القدرة على التعاطي المباشر مع وكلاء ونماذج الذكاء الاصطناعي.

انطلاقاً من منظور توخي الحوكمة نجد أمن فضاءات حيز البيانات هي بمكان القلب من هذا التحول – لكونها تمثل أطراً موثوقة وقابلة للتشغيل البيني المتبادل وتتيح إمكانية مشاركة البيانات بصورة مأمونة يراعى فيها جانب الملكية عبر القطاعات بطريقة لا تضطر ملاك البيانان للتنازل عن ملكيتهم لها. ذلك بأن هذه الفضاءات تشتمل على قواعد ثابتة لا مركزية، ووضح الدلالات، والحوكمة، بم يؤدي لى تعزيز التعاون مع ضمان سلامة البيانات وتمام التقيد والالتزام.

من المنظور الفني نلاحظ أن كلاً من قواعد البيانات المترابطة وقواعد شرح الدلالات اللغوية في طريقهما إلى احتلال مركز الصدارة من حيث التركيز والاهتمام. ذلك بأن هذه القواعد هي التي تتيح من إمكانية التشغيل البيني المتبادل للدلالات اللغوية وتشكل القاعدة الأساسية للسلامة، والمصدر، والثقة من خلال غرسها وتضمينها لموارد مختلفة كالبيانات ورموز التشفير، والتعريفات، والأمثلة، والتصاميم، والمكتبات وغيرها من العناصر في الرسوم البيانية. أما قابلية التشغيل البيني المتبادل للدلالات اللغوية، فإنه يعد من المقتضيات الضرورية المهمة واللازمة لإتمام عمليات البحث عن البيانات ودمجها مما يجعله عنصراً أساسياً لا غنى عنه لعمليات التطبيق الناجح للذكاء الاصطناعي.

خلافاً للبنى التحتية للبيانات المكانية القائمة حالياً، نجد أن المنظومة المستقبلية – للبيئة الحاضنة – للمعلومات الجيومكانية لم تعد تكتفي بمجرد تمهيد الطريق للوصول إلى البيانات ، بل إن التركيز فيها أصبح ينتقل بشكل متزايد إلى تحليل البيانات . ومن ثم أصبح لمكعبات البيانات وظيفة خاصة تؤديها. بمعنى أن هذا النوع من هياكل البيانات ذات الأبعاد المتعددة يستطيع أن يقوم بتنظيم البيانات المكانية – الزمانية مثل الصور الفضائية والصور المستمدة من أجهزة الاستشعار والبيانات المتجهة في صيغ موحدة قابلة للبحث والاستعلام. ويمكن لمكعبات البيانات أن تكون بمثابة العمود الفقري للمنظومة المستقبلية – للبيئة الحاضنة – للمعلومات الجيومكانية الحديثة بفضل قدرتها على التخزين العالي الكفاءة لمجموعات كبيرة من البيانات المكانية – الزمانية، واسترجاعها، وتحليلها

Governments remain central as providers of authoritative data, but the ecosystem now includes private sector innovators, academia, civil society, and intelligent systems. This diversity enhances resilience, innovation, and responsiveness, especially in addressing complex challenges like climate change, urbanization, and disaster response.

ومن شأن ذلك أن يسمح بتقليل نقاط الضعف المعتادة في بيانات الخدمة الموزعة إلى الحد الأدنى، لأن ما يحدث في هذه الحالة هو بدء بجمع البيانات أولاً من أجل إخضاعها للتحليل. تظل الحكومات هي الجهات الرئيسة لتوفير البيانات الرسمية الموثوقة، لكن المنظومات المستقبلية – للبيئة الحاضنة – للمعلومات الجيومكانية أصبحت تضم إليها عناصر مثل رواد التجديد والابتكارات في القطاع الخاص ، والجهات الأكاديمية ، والمجتمع المدني ، والنظم الذكية . وفي هذا التنوع ما يعزز عناصر المرونة وقابلية الاستجابة، خاصة فيما يتعلق بالتصدي للتحديات الحرجة مثل التغير المناخي، والتحضر والاستجابة للكوارث.

Standardization bodies like the OGC are adapting by embracing agile, community-driven approaches, enabling faster innovation cycles and more inclusive governance. The OGC supports this new ecosystem paradigm by:

لهيئات والمنظمات المختصة بالتقييس مثل اتحاد البيانات الجيومكانية المفتوحة (OGC) تعمل على التكيف من خلال تبنيها للمقاربات السريعة الاستجابة والمدفوعة باحتياجات المجتمع، بما يؤدي إلى إيجاد دوائر أعلى سرعة للابتكار والتجديد وحوكمة أكثر شمولاً. إن اتحاد البيانات الجيومكانية المفتوحة (OGC) يدعم نموذج المنظومة المستقبلية – للبيئة الحاضنة – للمعلومات الجيومكانية الجديد هذا بالطرق الآتية:

- **Modernizing Standards:** Moving from static specifications to modular, community- driven building blocks that enable reuse and semantic interoperability.
- **Automating Validation:** Establishing a continuous integration and testing environment to ensure real-time compliance and interoperability.
- **Supporting Decentralization:** Enabling communities to operate their own vocabularies, registers, and processing components.
- **Accelerating Innovation:** Embracing agile development practices and open collaboration to reduce time-to-standard.
- **Enhancing Semantic Interoperability:** Linking data with legal, provenance, and contextual metadata to ensure integrity, clarity, and trust.

- **تحديث المعايير:** أي الانتقال من المواصفات الجامدة إلى عناصر بناء أساسية عيارية مدفوعة باحتياجات المجتمع تفتح المجال لإعادة الاستخدام وقابلية التشغيل البيني المتبادل الذي يتوخى الدلالات اللغوية.
- **التثبيت بالطرق الآلية:** إنشاء وترسيخ بيئة استمرارية للتكامل والاختبار لضمان التقيد والالتزام وقابلية التشغيل البيني المتبادل على نسق آني.
- **دعم اللامركزية:** تمكين المجتمعات من إدارة المفردات اللغوية والسجلات ومكونات المعالجة الخاصة بهم.
- **تسريع عملية التجديد**: تبنى ممارسات التنمية السريعة والتعاون المفتوح لتقليل الوقت إلى المستوى العادي.
- **تعزيز التشغيل البيني المتبادل للدلالات اللغوية:** ربط البيانات بأصلها الشرعي ومصدرها وبيانات توصيف البيانات التي تتناسب معها لضمان درجة الدقة، والوضوح والثقة.

Ultimately, the geospatial ecosystem of the future is agile, inclusive, and sustainable. It empowers all sectors to participate in data-driven transformation, including governmental entities, private businesses, academia, and civil society. It supports informed policymaking, fosters innovation, and ensures equitable access to the benefits of geospatial intelligence, aligning with national priorities and global development goals.

ونقول في نهاية المطاف إن المنظومة المستقبلية – للبيئة الحاضنة – للمعلومات الجيومكانية تتصف بصفات الشرعة والشمول والاستدامة. وهي أيضاً قادرة على تقوية جميع القطاعات على المشاركة في التحول الذي تدفعه البيانات بما يشمل الهيئات الحكومية وشركات القطاع الخاص،، والجهات الأكاديمية، والمجتمع المدني برمته، كما أنها ستدعم عملية صنع السياسات المستندة إلى معلومات موثوقة، وترعى وتشجع الابتكار، وتضمن عدالة الوصول إلى فوائد المعلومات الجيومكانية، توافقاً مع الأولويات الوطنية وأهداف ومقاصد التنمية العالمية.

6) المراجع

- سيرينا كوتيزي وميشتل غولدو، بروس مككورماك،ظفر محمدغوث ، غريك سكوت، ألكساندر موخ ، نادين العميه، جوسوف ستروبل ، أندجرياس ويتزك ،ثريمال فاسان ديفاراجان ، (2021). نحو منظومة مستقبلية لبيئة حاضنة للمعلومات الجيومكانية تكون مستدامة وتفوق البنى التحتية للبيانات المكانية (SDIs). https://doi.org/10.13140/RG.2.2.22555.39203
- ديسانایاكي، د. م. س. ل. ب.، راناجالاج، م. جاياسوندارا، ج. م. س. ب.، راجاباكش، ب. س. ك.، هيرات، ن. س. ك.، ماراسينغ، س. أ.، ... وهيرات، ي. (2025). تحليل ببليومتري شامل للبنية التحتية للبيانات المكانية في سياق المدينة الذكية. لاند، 14(3)، 492.
- لي، هـ.، هوانغ، و.، تشاي، ي.، تشاو، و.، تشنغ، ش.، وليو، ج. (2024م). بحث عن دعم البنية التحتية للبيانات المكانية الجديدة تداول عناصر بيانات المعلومات الجغرافية. الأرشيف الدولي لعلوم المسح الجوي والاستشعار عن بعد والمعلومات المكانية، 48، 303-309.
- مارتن ،سايتر (2024م). من البنية التحتية للبيانات المكانية إلى البنية التحتية للمعرفة الجيومكانية: دور نماذج الإدارة والتمويل. أسبوع عمل الاتحاد الدولي لمهندسي المساحة (FIG)2024م، تحت شعار: عالمكم، عالمنا: بيئة مرنة وإدارة مستدامة للموارد لتعم الجميع، والذي عقد في أكرا، غانا، 19-24 مايو 2024م.
- سوكيما، جيه، دبليو، بريغت، إيه، و كروفيتس، جيه. (2017م). البنى التحتية المتطورة للبيانات المكانية ودور الحوكمة وقدرتها على التكيف. المجلة الدولية للمعلومات الجغرافية الصادرة من الجمعية الدولية للمسح الجوي والاستشعار عن بُعد (ISPRS)، 6(8)،254. https://doi.org/10.3390/ijgi6080254

6) Bibliography

- Coetzee, Serena & Gould, Michael & McCormack, Bruce & Mohamed Ghouse, Zaffar & Scott, Greg & Kmoch, Alexander & Alameh, Nadine & Strobl, Josef & Wytzisk, Andreas & Devarajan, Thirumalaivasan. (2021). Towards a sustainable geospatial ecosystem beyond SDIs. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.22555.39203
- Dissanayake, D. M. S. L. B., Ranagalage, M., Jayasundara, J. M. S. B., Rajapakshe, P. S. K., Herath, N. S. K., Marasinghe, S. A., ... & Herath, Y. (2025). A Comprehensive Bibliometric Analysis of Spatial Data Infrastructure in a Smart City Context. Land, 14(3), 492.
- Li, H., Huang, W., Zhai, Y., Zhao, W., Zheng, X., & Liu, J. (2024). Research on New Spatial Data Infrastructure Supports the Circulation of Geographic Information Data Elements. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 48, 303-309.
- Saeter, Martin (2024). From spatial data infrastructure to geospatial knowledge infrastructure: The role of management and financing models. FIG Working Week 2024, Your World, Our World: Resilient Environment and Sustainable Resource Management for all. Accra, Ghana, 19–24 May 2024

- Sjoukema, J.-W., Bregt, A., & Crompvoets, J. (2017). Evolving Spatial Data Infrastructures and the Role of Adaptive Governance. ISPRS International Journal of Geo-Information, 6(8), 254. https://doi.org/10.3390/ijgi6080254