التوائم الرقمية:

المفتاح لفتح نمو سلسلة التوريد من البداية إلى النهاية[1]

Alberto Oca
Partner, Atlanta

Alex Cosmas
Senior Partner, New York

Cenk Tunasar
Partner

Ketan Shah
Partner, Chicago

لقد قلب التعقيد و COVID-19 والمنافسة منظمات سلسلة التوريد. يمكنهم إشعال نمو الإيرادات وتعميق المرونة من خلال نشر التوائم الرقمية التي تعمل بالذكاء الاصطناعي.

خلق عصر ما بعد كوفيد-١٩ شقوقًا دائمة في سلسلة التوريد. وسط العولمة المتزايدة، وارتفاع توقعات العملاء، ونمو الشحن المكون من رقمين، منظمات سلسلة التوريد – ليس فقط المصنعين والموردين ولكن أيضا المستودعات والناقلات التي يعتمدون عليها – تحت الإكراه. إنهم يتصارعون مع القضايا المتعلقة بالكفاءة التشغيلية والتنبؤ بالطلب وإدارة المخزون والوفاء. يؤثر هذا التعقيد على كل جزء من سلسلة التوريد في كل صناعة: البيع بالتجزئة والتكنولوجيا والسيارات والصناعية والخدمات الغذائية والاتصالات السلكية واللاسلكية والمزيد. والنتيجة هي النمو المتوقف وفرص الإيرادات الضائعة.

تمارس العديد من القوى المتنافسة ضغوطا على سلسلة التوريد: طلب المستهلكين على المنتجات منخفضة السعر التي يتم تسليمها عن طريق الشحن السريع والمجاني؛ وارتفاع أجور موظفي التصنيع

[1] Alberto Oca, Alex Cosmas, Cenk Tunasar, and Ketan Shah, with Lauren O'Neil, Digital twins: The key to unlocking end-to-end supply chain growth, McKinsey, November 20, 2024, Link.

والمستودعات والتسليم؛ والرؤية الغامضة لاضطرابات الاقتصاد الكلي المستقبلية. تظهر أبحاث ماكينزي أن أكثر من ٩٠٪ من المستهلكين في الولايات المتحدة يتوقعون الآن التسليم من يومين إلى ثلاثة أيام للمشتريات ويتوقع الثلث التسليم في نفس اليوم. ومنذ أن عطل الوباء المبيعات الشخصية، تتوقع شركات B2B من مورديها تقديم مبيعات متعددة القنوات عبر الأسواق عبر الإنترنت والهاتف المحمول ومؤتمرات الفيديو والدردشة.

تحقيق هذه التوقعات أكثر تحديا من أي وقت مضى. ارتفاع أسعار العمالة – بما في ذلك زيادة تزيد عن ٣٠٪ في أجور التخزين بين يوليو ٢٠٢٠ ويوليو ٢٠٢٤ تجعل من الصعب الحفاظ على أسعار منخفضة مع تلبية الهوامش. نقص العمالة الصناعية يقوض القدرة على خلق تدفقات مخزون ثابتة، في حين أن الصدمات الاقتصادية غير المتوقعة مثل التضخم الأخير تعقد التنبؤ بالطلب. وحتى عندما يعمل جانب العرض بشكل جيد، لا يزال الوفاء يمثل تحديا؛ ولا تزال معدلات تخزين المستودعات مقيدة، مما يؤدي إلى وصول المنتجات إلى المستلمين في وقت متأخر.

يمكن للتوائم الرقمية شفاء سلسلة التوريد

في ظل هذه الظروف، تخاطر المنظمات التي لا تعيد معايرة عمليات سلسلة التوريد الخاصة بها بالتخلف. يمكن للتوائم الرقمية المساعدة في إعادة المعايرة. تلجأ الشركات الرائدة بالفعل إليها لضمان أن تكون سلاسل التوريد الخاصة بها مرنة ورشيقة ومستجيبة بما يكفي للتغلب على الاضطرابات غير المتوقعة.

التوائم الرقمية هي نسخ طبق الأصل افتراضية لكائن أو نظام أو عملية تستخدم لمحاكاة المواقف والنتائج المحتملة. يستخدم التوائم الرقمية بيانات حقيقية (أحيانا في أشكال مقنعة أو اصطناعية) لتقديم رؤى وتصورات تحليلية. تستخدم العديد من المنظمات التوائم الرقمية لتحسين العمليات وتخطيط السيناريوهات والمساعدة في صنع القرار. يشير تحليل السوق إلى أن السوق العالمية للتوائم الرقمية ستنمو بنحو ٣٠–٤٠٪ سنويا في السنوات القليلة المقبلة، لتصل إلى ١٢٥ مليار دولار إلى ١٥٠ مليار دولار بحلول عام ٢٠٣٢.

يمكن استخدام التوائم الرقمية لنمذجة التفاعل بين العمليات المادية والرقمية على طول سلسلة التوريد – من التفكير في المنتجات والتصنيع إلى التخزين والتوزيع، ومن المشتريات داخل المتجر أو عبر الإنترنت

إلى الشحن والمرتجعات. وبالتالي، يرسم التوائم الرقمية صورة واضحة لعملية سلسلة التوريد المثلى من البداية إلى النهاية. ما هو أكثر من ذلك، إلى جانب التقدم اليوم في الذكاء الاصطناعي التنبؤي، يمكن أن يصبح التوائم الرقمية تنبؤية وإلزامية على حد سواء. يمكنهم التنبؤ بالسيناريوهات المستقبلية لاقتراح مجالات للتحسين أو النمو، مما يؤدي في نهاية المطاف إلى سلسلة توريد ذاتية المراقبة والشفاء الذاتي. بعبارة أخرى، تمكن التوائم الرقمية من التحول من إدارة سلسلة التوريد القائمة على الاستدلال إلى التحسين الديناميكي والحبيبي، مما يوفر رؤية ٣٦٠ درجة لتسرب القيمة والأداء.

لفهم كيفية عمل سلسلة التوريد ذاتية الشفاء في الممارسة العملية، دعونا ننظر إلى مثال واحد: باستخدام التوائم الرقمية، يحدد بائع التجزئة أهدافا ديناميكية لمخزون السلامة على مستوى SKU لكل مركز تنفيذ يتطور ديناميكيا مع أنماط الطلب المحلية والموسمية. علاوة على ذلك، يتم تطبيق هذا التحسين الحبيبي ليس فقط على إدارة المخزون ولكن أيضا على كل جزء من سلسلة التوريد من البداية إلى النهاية – من المشتريات وتصميم المنتجات إلى التصنيع والتنبؤ بالطلب. على سبيل المثال، يمكن القيام بتخطيط الإنتاج الحبيبي لمتاجر التجزئة بالتنسيق مع قرارات النقل في المصب وتحديد موقع المخزون. قد يحدد التخطيط الديناميكي، على سبيل المثال، سلعة كبيرة الحجم مع إمكانية البيع المتبادل، حيث يتم تعويض ارتفاع تكاليف التصنيع للبند عن طريق انخفاض التكاليف اللوجستية من البداية إلى النهاية من خلال الشحن المجمع وزيادة تحويل العملاء. هذا النوع من النمذجة التنبؤية المعقدة هو أفضل ما يفعله التوائم الرقمية. النتائج النموذجية في مثل هذا السيناريو هي تحسن يصل إلى ٢٠٪ في الوفاء بوعد المستهلك (تحقيق تاريخ التسليم الذي تم إبلاغه للمستهلك)، وانخفاض بنسبة ١٠٪ في تكاليف العمالة، ورفع الإيرادات بنسبة ٥٪.

التوائم الرقمية تعمل على تحسين برنامج SCM اليوم

قام برنامج إدارة سلسلة التوريد (SCM) اليوم – الذي يتضمن مجموعة من المنتجات، مثل أدوات التخطيط والجدولة المتقدمة (APS) وأنظمة إدارة المستودعات (WMS) وأنظمة إدارة النقل (TMS) – بأتمتة أجزاء كبيرة من سلسلة التوريد في العقد الماضي، مما أدى إلى تبسيط كيفية تقاطع الموردين والمشترين والشاحنين بشكل كبير.

يمكن للتوائم الرقمية الاندماج مع أدوات SCM الحالية، وتعمل كطبقة ابتكار تقع فوق مجموعة التكنولوجيا. بهذه الطريقة، يمكن للتوائم الرقمية تحسين مدخلات البيانات في أدوات SCM، وتوليد تحليلات تنبؤية لمعالجة السيناريوهات المحتملة المتعددة والاستجابة لها. على سبيل المثال، أنشأ OEM العالمي توأما رقميا لتحسين السياسات التي تم بتأجيرها في منصة TMS الخاصة بها للخدمات اللوجستية الصادرة. نتيجة لذلك، خفضت شركة تصنيع المعدات الأصلية تكاليف الشحن والأضرار بنسبة ٨٪.

يساعد التوائم الرقمية في زيادة أدوات SCM بعدة طرق:

- الاتصالات من البداية إلى النهاية: يمكن للتوائم الرقمية ربط أدوات SCM في جميع أنحاء سلسلة التوريد لتوفير رؤية متكاملة للأداء وتأثيرات القرار في المصب والهبوط. هذا يلغي نهجا معزولا تعمل فيه كل أداة على تحسين متغيراتها المحلية فقط، مع القليل من التنسيق فيما بينها. على سبيل المثال، استخدم أحد تجار التجزئة التوائم الرقمية لربط أدوات التخطيط ونشر المخزون وإدارة النقل.
- المرونة في الأسواق الديناميكية: مع استمرار زيادة التقلبات بعد كوفيد-١٩، يجب على مشغلي سلسلة التوريد تحديث سياساتهم باستمرار بسبب تقلب الطلب وصدمات العرض المتقطعة، مثل اضطرابات الموانئ أو توافر المواد. عند دمجها مع التوائم الرقمية، توفر أدوات SCM رؤية في الوقت الفعلي للأداء الحبيبي، مقترنة بالتحليلات التنبؤية والوصفية لتحديد المخاطر ديناميكيا والتوصية بتغييرات السياسة من أجل الحل السريع. على سبيل المثال، استخدم أحد مصنعي المعدات الأصلية قدرات التوأم الرقمي الآلية لتحديد التحولات في أداء الناقل والرسوم الإضافية، مما يقلل بشكل فعال من تكاليف النقل في الميل الأخير بنسبة ٥٪.
- أهداف متعددة: يمكن للتوائم الرقمية التحسين عبر الأولويات المتنافسة والقيود المعقدة للاستجابة السريعة لتغيرات السوق. على سبيل المثال، استخدم أحد مصنعي المعدات الأصلية للسيارات التوائم الرقمية لتشكيل الطلب ديناميكيا استنادا إلى تحول توافر العرض والتعقيد التشغيلي، وحلها بشكل جماعي عبر كل من المبيعات والأهداف التشغيلية.

- التباين: يمكن للتوائم الرقمية جنبا إلى جنب مع أدوات SCM اختبار توزيع السيناريوهات المحتملة من خلال تحليل المقاييس، مثل المهلة الزمنية والطلب وموثوقية المورد، مع النظر أيضا في نتائج ماذا لو. على سبيل المثال، قامت شركة السلع الاستهلاكية المعبأة بقياس الطلب المتغير والعمالة في مستودعاتها وحددت فرصة خفض إجمالي تكاليف مركز التوزيع بنسبة ١٥٪. هذا يجسد مرونة الشبكة.

الغوص العميق في التوائم الرقمية

رؤية التوائم الرقمية في العمل هي أفضل طريقة لفهم كيف يمكنهم تقديم القيمة في النقاط الرئيسة في سلسلة التوريد. استكشف حالات الاستخدام المحتملة أدناه لمعرفة كيف يمكن للتوائم الرقمية حل نقاط الألم الحقيقية في جميع أنحاء سلسلة التوريد لتحسين الكفاءة والمرونة.

التنبؤ وتخطيط الطلب

التنبؤ بالطلب

نقاط الضعف

- يؤدي عدم دقة التنبؤات إلى فائض في المخزون / نفاد المخزون وهياكل تكلفة غير مثالية
- يُعيق نقص البيانات الفورية الاستجابة لتغيرات السوق

حالات استخدام التوأم الرقمي

- توقعات الطلب الاحتمالية وتحليل "ماذا لو"
- اختبار السيناريوهات والتخطيط الديناميكي للطلب الأولي على مستوى وحدة تخزين المنتج
- تحديد الأولويات الديناميكي، خاصةً عند وجود نقص في العرض

تخطيط المصادر والإنتاج

التحسين الأمثلي للعرض

نقاط الضعف

- عدم وضوح الرؤية بشأن مصادر التوريد والموردين
- توقف الإنتاج أو عدم كفاية الطاقة الإنتاجية

حالات استخدام التوأم الرقمي

- تخطيط إنتاج عالمي مُحسّن لتدفق المخزون الشامل
- خطط إنتاج تُوازن بين التنازلات في تكاليف الإنتاج، والإنفاق اللوجستي، وتجربة العملاء
- رؤية آنية وتنبؤية لموثوقية الموردين

شبكة مركز التوزيع

تصميم الشبكات

نقاط الضعف

- إعادة تقييم تصميم الشبكة كل خمس إلى عشر سنوات باستخدام نماذج جديدة (على سبيل المثال، النماذج "مرة واحدة فقط")
- صعوبة التخطيط لسيناريوهات العرض والطلب غير المعروفة

حالات استخدام التوأم الرقمي

- نموذج تصاعدي يُمثل جميع تعقيدات الشبكة وترابطاتها
- نموذج دائم الخضرة متصل بمصادر بيانات آنية لتحسين تصميم الشبكة وإدارة المخزون

إدارة المخزون وتحديد المواقع

نقاط الضعف

- مستويات المخزون لا تتناسب مع الطلب (على سبيل المثال، نفاد المخزون أو ارتفاع مستويات المخزون)
- ارتفاع تكاليف النقل في الميل الأوسط والأخير
- تمديد مهلة وصول العميل

حالات استخدام التوأم الرقمي

- عرض تفصيلي للمخزون عبر الشبكة، والطلبات، والقيود التشغيلية (مثل التخزين البارد) .
- تحسين ديناميكي سريع للسياسات (مثل مخزون الاحتياطي) استناداً إلى العرض والطلب في الوقت الفعلي .

- تصميم شبكة سلسلة التبريد لدعم المنتجات الجديدة.

التحسين الأمثل للمستودعات

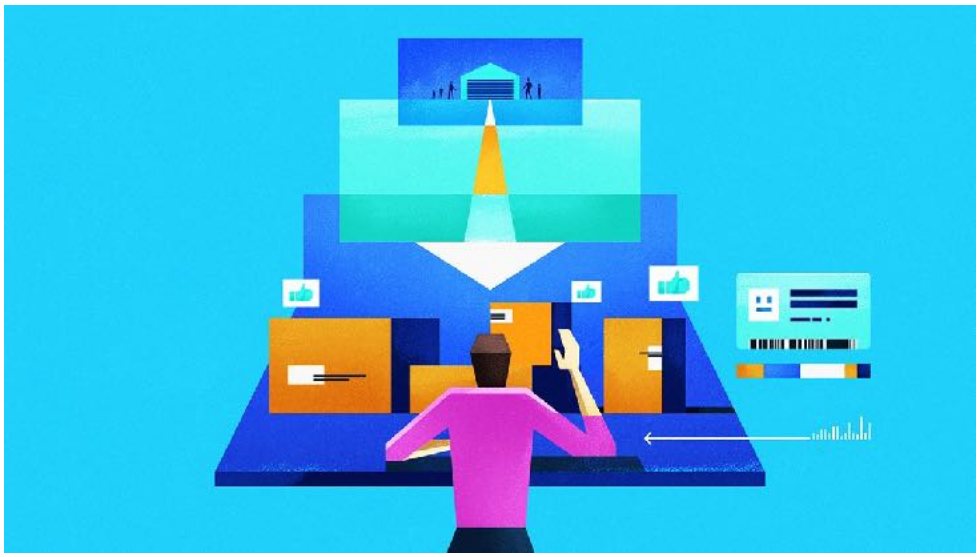
نقاط الضعف

- عدم الكفاءة التشغيلية (على سبيل المثال، عدم وضوح احتياجات تخزين سلسلة التبريد في مركز التوزيع)
- التعامل مع المتوسطات فقط، مما يؤدي إلى نقص أو زيادة في عدد الموظفين

حالات استخدام التوأم الرقمي

- نظرة تفصيلية على عمليات مركز البيانات لتحديد أوجه القصور واختبار تغييرات العملية (على سبيل المثال، تخزين سلسلة التبريد بأقصى كفاءة في مركز البيانات)
- حل مشكلات الطلب المتغير والتفاعل مع قرارات الشبكة، مع مراعاة إمكانية رؤية مخزون مركز البيانات

العملاء النهائيون



الإنجاز

نقاط الضعف

- مشاكل التوصيل (مثل تأخر التسليم، نقص المنتجات)

- تكاليف النقل المرتفعة في المرحلة الأخيرة

حالات استخدام التوأم الرقمي

- رؤية واضحة للتسويات الاحتمالية لضمان أعلى مستويات الخدمة بتكاليف مثالية
- تحسين النقل مع رؤية واضحة للقيود الدقيقة

الخدمات اللوجستية العكسية

نقاط الضعف

- ارتفاع تكلفة الخدمة (على سبيل المثال، العمليات اليدوية للتحقق من جدوى إعادة البيع)
- عدم وضوح المخزون المتاح في شبكة الخدمات اللوجستية العكسية

حالات استخدام التوأم الرقمي

- محاكاة شاملة لاختبار نمط جديد لتدفق الخدمات اللوجستية العكسية
- تبسيط القدرات عبر المتاجر وشبكات مراكز البيانات

فهم فوائد التوائم الرقمية

تستفيد مؤسسات سلسلة التوريد من التوائم الرقمية لتحسين استراتيجياتها طويلة الأجل وعملياتها اليومية. الطرق الأكثر شيوعا التي رأيناها شركات سلسلة التوريد تنشر التوائم الرقمية هي تحديد موقع المخزون والتنبؤ به، وإدارة تدفق البضائع داخل الجدران الأربعة للمستودعات والمصانع، والمساعدة في تخطيط الإنتاج. ولكن هذه ليست سوى عدد قليل من الطرق التي يتم بها تنفيذ التوائم الرقمية في جميع أنحاء سلسلة التوريد. بغض النظر عن كيفية استخدام التوائم الرقمية، فإن الفوائد واضحة:

- استراتيجي: يمكن للتوائم الرقمية التخليص من التخطيط طويل الأجل والتحولات الرقمية الأوسع نطاقا من خلال محاكاة النتائج المحتملة. يمنح هذا النوع من النمذجة التنبؤية ماذا لو الشركات الثقة في التأثير الشامل لخططها الاستراتيجية. على سبيل المثال، استخدم بائع تجزئة توأما رقميا حبيبيا لشبكة التوزيع الخاصة به لاختبار الآثار من أسفل إلى أعلى لتصميم جديد لمركز التوزيع الخاص به. كانت الشركة قد استخدمت سابقا تحليلا من أعلى إلى أسفل لتحديد حجم وموقع رصيف متقاطع جديد محتمل. ولكن عندما استخدمت الفرق توأما رقميا لنمذجة جميع القيود المحتملة لهذا

الموضع المتقاطع، وجدوا أنه يمكنهم تغيير حجمه ونقله على عقارات أقل بنسبة ٥٠٪ دون المساس بالوظائف.

- التشغيلي: بالإضافة إلى إبلاغ القرارات الاستراتيجية لمرة واحدة، يمكن للتوائم الرقمية أن تعمل "كنموذج واحد لحكمهم جميعا"، مما يحسن اتخاذ القرارات اليومية عبر العمليات المختلفة. بعبارة أخرى، بدلا من نظام النماذج التنبؤية غير المترابطة، يمكن للتوأم الرقمي الجمع بين العديد من النماذج للتنبؤ المتكامل وصنع القرار – مقارنة المقايضات المتنافسة ديناميكيا عبر سلسلة التوريد لاقتراح تغييرات تشغيلية حبيبية. على سبيل المثال، استخدم بائع التجزئة نفسه توأمه الرقمي ليس فقط لتحسين بصمته المتقاطعة في مركز التوزيع الخاص به ولكن أيضا لتحسين قرارات تحديد موقع المخزون اليومية – التنبؤ بسياسات أيام العرض الأسبوعية لتحقيق التوازن بين التكلفة ومستويات الخدمة والاستدامة. وكانت النتيجة تحسنا بنسبة ١٠٪ في استخدام مركز التوزيع الإقليمي وانخفاضا بنسبة ٥٪ في تكاليف الوفاء.

البدء في التوائم الرقمية

في حين أن منظمات سلسلة التوريد تدرك القيمة التي يمكن أن تقدمها التوائم الرقمية، إلا أن القليل منها قد نفذها على نطاق واسع. على عكس العديد من حلول SCM التي يتم التوصيل والتشغيل، قد تتطلب التوائم الرقمية بناء مخصص للتنفيذ. نظرا لأن التوائم الرقمية تتناول بشكل روتيني كميات كبيرة من البيانات الخاصة أو المقنعة أو الاصطناعية، فهي دائما ما تكون مصممة خصيصا، مما يستغرق وقتا طويلا واستثمارا. يجب أن يكون لدى مؤسسات سلسلة التوريد فرق داخلية لعلوم البيانات والتطوير قادرة على بناء توائم رقمية تستخدم خوارزميات الذكاء الاصطناعي المتقدمة، أو الشراكة مع خبراء في البائعين الخارجيين في هذه المجالات.

يجب على المنظمات التي تطمح إلى الشروع في رحلة التوأم الرقمي التركيز على خمسة مبادئ رئيسة للنجاح:

- خريطة طريق نورث ستار: حدد رؤية عملية سلسلة التوريد المستقبلية المبنية على البيانات والتكنولوجيا. حدد حالات الاستخدام من البداية إلى النهاية التي تدعم رؤية نورث ستار ثم قم ببناء خريطة طريق لحالات الاستخدام من خلال تحديد أولويات التأثير – الربح والخسارة أو التسليم

– والجدوى. عادة، تعطي الشركات أولا الأولوية لحالات الاستخدام بسرعة فائقة لإثبات القيمة في وقت مبكر من الرحلة.

- رؤية البيانات: لكل حالة استخدام في خريطة الطريق من البداية إلى النهاية، حدد مدخلات البيانات والمخرجات المطلوبة. قم بإنشاء خريطة طريق تكميلية لمنتجات بيانات المنظمة التي تدعم خريطة طريق حالة الاستخدام، مع إعطاء الأولوية لعناصر البيانات التي سيتم مشاركتها عبر العديد من التطبيقات عالية التأثير. تطوير منتجات البيانات هذه بشكل متكرر مع التطوير الرشيق. للبدء، يتطلب التوائم الرقمية خط أنابيب شبه منتظم من البيانات الرقمية والموحدة، ولكن من الممكن ملء فجوات البيانات بمصادر أكثر ثباتا مثل، على سبيل المثال، متوسط الإنتاجية في المستودع مقابل مستويات التوظيف اليومية.
- بنية التكنولوجيا: تتكون بنية التوأم الرقمي إلى حد كبير من مصادر البيانات والتكنولوجيا الحالية، مخيطة معا عبر واجهات برمجة التطبيقات والبرامج الوسيطة. عادة، هناك حاجة إلى زيادة هامشية في القدرة الحسابية لدعم التوأم، لذا تأكد من أن الفرق التقنية لديها المرونة لتوسيع نطاق موارد الحوسبة الحالية حسب الحاجة.
- الموهبة: تقييم مستويات مهارة أعضاء الفريق اللازمة لتقديم التوائم الرقمية، بما في ذلك مديري المنتجات ومهندسي البيانات وعلماء البيانات ومصممي واجهة المستخدم / تجربة المستخدم ومطوري المكدس الكامل. يتم تقديم التوائم الرقمية بشكل أكثر فعالية باستخدام منهجيات رشيقة لدورات التطوير السريعة، لذلك قد يحتاج مديرو المنتجات إلى تحسين المهارات والتدريب الرشيقين.
- التحسين والمحاكاة: تحديد أول حالة استخدام رقمية للشركة ونشرها. قم بالبناء على منتجات البيانات لإنشاء وحدات التحسين والمحاكاة التي تلتقط تأثير حالة الاستخدام. بعد ذلك، قم بتوسيع حالات الاستخدام بشكل متكرر والجمع بين الوحدات النمطية للمحاكاة المتكاملة والتحسين من البداية إلى النهاية. لاحظ أنه يمكن للفرق البدء في تطوير وحدات المحاكاة والتحسين قبل اكتمال منتج البيانات لالتقاط التأثير المبكر ثم دمج هذه الوحدات لاحقا.

يتطلب تحسين سلسلة التوريد من البداية إلى النهاية أكثر من مجرد تنفيذ التكنولوجيا؛ بل يتطلب أيضا تحولا في العقلية على مستوى القيادة وفي جميع أنحاء المنظمة. داخليا، يجب على الشركات التي تستخدم التوائم الرقمية أن تسعى إلى القضاء على الصوامع الداخلية واستبدال المعرفة المؤسسية المجزأة باتخاذ قرارات قائمة على البيانات. خارجيا، يجب على الشركات تحليل أدوارها بعناية في سلسلة التوريد العالمية المترابطة. في عالم يزداد تعقيدا وترابطا، يمكن للمنظمات عبر سلسلة التوريد استخدام التوائم الرقمية للتنبؤ بالاضطرابات المحتملة وسيناريوهات ماذا لو التي يمكن أن تؤثر على أعمالها. لا يمكن لأحد أن يتنبأ بالوباء أو الحرب أو الصدمة الاقتصادية القادمة على وجه اليقين، ولكن التوائم الرقمية يمكن أن تساعد الشركات على التفاعل والتكيف مع هذه الاحتمالات.