

Gestión de sistemas de material de empleo militar: el papel de los niveles de disposición tecnológica

Management of military systems: the role of technology readiness levels

Resumo: La gestión de Sistemas de Material de Empleo Militar (SMEM) normalmente involucra una red compleja compuesta por actores con formaciones y experiencias bastante diversificadas. En ese contexto, se convierte desafiador promocionar la comunicación del conocimiento, integrar conocimientos tácitos y entender las perspectivas de las partes interesadas para incorporarlas en las estrategias de gestión tecnológica. Este artículo tiene el objetivo de investigar la gestión de SMEM bajo la óptica de niveles de disposición tecnológica, que regula el entendimiento común e identifica marcos de la madurez de tecnologías críticas. Basado en revisión de la literatura y teniendo como referencia el Sistema de Ciencia, Tecnología e Innovación del Ejército Brasileño, este artículo muestra que la escala de niveles de madurez tecnológica, originalmente creada para tecnologías y sistemas espaciales altamente complejos, no atiende las necesidades de redes de SMEM. En razón de eso, son presentadas cuestiones en abierto, suscitando temas de investigaciones que pueden contribuir con la gestión de SMEM.

Palavras-chave: Sistemas de Materiales de Empleo Militar. Integración del Conocimiento. Niveles de Disposición Tecnológica. Sistemas de Productos Complejos. Ciclo de Vida del Producto.

Abstract: The management of Military Systems usually involves a complex network formed by distinct actors with diverse backgrounds and cultures. In this context, to enable knowledge communication, integrate tacit knowledge and understand the perspectives of the stakeholders to incorporate in their technology management strategy is a challenge. The objective of this study is to investigate the management of SMEM utilizing the lens of technology readiness levels (TRL), that normalize common understanding and identify milestones of maturation for critical technologies. Based on a literature review and using as a reference the Science and Technology Innovation System of the Brazilian Army, we found that the TRL scale, originally created for high complex space technologies and systems, does not meet completely the particularities of Military Systems networks. Therefore, this article presents research questions raising important themes that, if explored, can contribute with the management of Military Systems.

Keywords: Military System. Knowledge Integration. Technology Readiness Levels. Complex Product and Systems. Product Life Cycle.

José Adalberto França Junior

Agência de Gestão e Inovação Tecnológica
(AGITEC)
Rio de Janeiro, RJ, Brasil

Juraci Ferreira Galdino

Agência de Gestão e Inovação Tecnológica
(AGITEC)
Rio de Janeiro, RJ, Brasil

Recibido: 02 ene. 2019

Aceptado: 18 mar. 2019

COLEÇÃO MEIRA MATTOS

ISSN on-line 2316-4891 / ISSN print 2316-4833

<http://ebrevistas.eb.mil.br/index.php/RMM/index>



1 Introducción

El *Sistema de Ciência, Tecnologia e Inovação do Exército Brasileiro* –SCTIEx (Sistema de Ciencia, Tecnología e Innovación del Ejército Brasileño), cuyo órgano central es el *Departamento de Ciência e Tecnologia* –DCT (Departamento de Ciencia y Tecnología), es responsable por la Enseñanza de Ingeniería, Investigación, Desarrollo e Innovación en el campo científico y tecnológico de interés de la Fuerza Terrestre brasileña (BRASIL, 1994).

Los productos, los sistemas y los aprovisionamientos de interés del Ejército son bastante diversificados. Ellos comprenden, por ejemplo, ración alimentaria, uniformes y chalecos de protección balística, que son producidos en masa; radios tácticos, producidos en muchas de unidades; sistemas radares, producidos en muchas unidades; y sistemas misilísticos, generalmente producidos en pocas unidades. Muchos de ellos resultan de la integración de varias tecnologías críticas y de alta complejidad, poseen subsistemas personalizados, son producidos en baja escala y son destinados a mercados específicos (monopsónico). Por eso, las actividades de investigación y desarrollo (I+D) asociadas requieren herramientas de gestión sofisticadas.

Los *stakeholders* (partes interesadas) de la red conformada por SCTIEx pertenecen a varias organizaciones públicas y privadas, son oriundos de diversas áreas de actuación y poseen formaciones, orígenes y experiencias profesionales dispares. Ese escenario es propicio a desentendimientos sobre temas importantes que surgen a lo largo de todo el ciclo de vida del material, y no solamente en la etapa de su I+D. Conviene subrayar que muchos productos y sistemas de interés del SCTIEx poseen ciclos de vida largos (medidos en décadas) y los *stakeholders* de diversas organizaciones cambian en el su transcurso.

Como ejemplo de la riqueza del escenario que ha sido mencionado, se trae a la luz la elaboración de un planeamiento para la obtención de un producto por I+D, lanzamiento de la innovación en el mercado y su utilización. Se sabe que ese tipo de planeamiento, generalmente, integra la perspectiva de investigadores, ingenieros, usuarios y gestores de ciclo de vida. Aunque posean entendimientos distintos de la evolución del producto a lo largo del ciclo de vida, esos actores contribuyen con el establecimiento de costos, metas, plazos y requisitos. Además de eso, ellos interaccionan más intensamente en distintas etapas del ciclo de vida. Mientras el investigador está más involucrado en la etapa de la exploración de tecnologías genéricas con el objetivo de diversas aplicaciones, el ingeniero posee una visión más enfocada en la integración de tecnologías y concepción del producto específico, al paso que el empresario en su comercialización. Al mismo tiempo, el usuario se preocupa con el desempeño, la confiabilidad, los *upgrades* y las correcciones de eventuales fallos durante la utilización del producto. En ese contexto, los gestores del ciclo de vida intentan optimizar recursos, sincronizando y alineamiento los esfuerzos dedicados en esas etapas.

La literatura de Sistemas de Productos Complejos (CoPS, del término en inglés *Complex Products and Systems*) aborda la problemática de la diversidad de conocimientos que deben ser integrados y de actores que precisan ser involucrados, reconociendo la complejidad y las inseguridades generadas en el planeamiento, en la coordinación y en el desarrollo de esos productos (DAVIES et al., 2011; HOBDDAY, 1998). En ese contexto, queda evidenciada la importancia de se buscar el entendimiento común entre esos actores (GRANT, 1996b; SCHMICKL; KIESER, 2008) y establecer una eficiente comunicación (AXELSON, 2008).

Mecanismos de interacción personales, como *workshops* y reuniones, y mecanismos impersonales, como políticas, directivas, normas o reglamentos, son empleados en la búsqueda del entendimiento

común (GRANT, 1996b). La escala de niveles de disposición tecnológica (TRL, del término en inglés *Technology Readines Level*) (MANKINS, 2009) puede ser considerada como un mecanismo de interacción impersonal, pues norma la comunicación entre actores diversos, establece un lenguaje común, estandariza marcos críticos y mide el avance de la capacidad tecnológica a lo largo del proceso de innovación.

Estudios que exploran los mecanismos impersonales en las actividades de integración y comunicación del conocimiento, especialmente sobre la herramienta TRL en el contexto de CoPS, son escasos. Esos estudios se convierten aún más raros cuando el elemento focal de la red analizada es una organización pública que actúa como contratante, ejecutora de I+D y usuaria de la innovación generada en la red y que, por eso, precisa gestionar todo el ciclo de vida del producto o sistema. No obstante, con el objetivo de rellenar esta brecha, este artículo busca investigar la gestión de SMEM bajo la óptica de los niveles de disposición tecnológica. Para eso, esta investigación, de carácter exploratorio, investiga la literatura sobre la escala TRL y analiza el DCT bajo la problemática de la comunicación del conocimiento y en el contexto de Sistemas de Productos Complejos, con vistas que, generalmente, un SMEM es un ejemplo de CoPS. Luego, se propone un nuevo campo de investigación que podrá contribuir con varias cuestiones en abierto sobre gestión de SMEM y de CoPS.

La revisión bibliográfica evidencia la utilización de la escala TRL en contextos diversos de la propuesta original, siendo empleada de manera mucho más abarcadora en la gestión de CoPS, como en la elaboración y en el acompañamiento de planeamientos estratégicos. Adicionalmente, del análisis de documentos de autodiagnósticos y de planes de gestión de las organizaciones pertenecientes al DCT, se puede inferir que la adopción de una escala de evaluación de madurez tecnológica podría atender necesidades de gestión de CoPS del órgano que ha sido mencionado, contribuyendo no solo con la comunicación del conocimiento, sino también con el planeamiento estratégico de I+D en niveles decisorios (UNITED STATES, 2009). No obstante, se verificó que la escala TRL original no es capaz de atender a tales necesidades, pudiendo solamente contribuir con la solución de problemas oriundos de contextos bien específicos. De esa manera, debido a la importancia del tema para la enorme comunidad de actores que se involucran en el ciclo de vida de CoPS, este artículo presenta temas en abierto, suscitando estudios futuros.

El artículo está así organizado. La Sección 2 presenta una revisión bibliográfica sobre la integración del conocimiento y la búsqueda del entendimiento común en el contexto de la gestión de CoPS. La Sección 3 es dedicada a una revisión de la literatura sobre el papel de los niveles de disposición tecnológica en la gestión de CoPS. En la Sección 4, se presenta la metodología de investigación. El detalle y la importancia del caso representativo son presentados en la Sección 5. Propuestas de estudios futuros sobre gestión de CoPS basados en disposición tecnológica son discutidas en la Sección 6. Por fin, son presentadas las conclusiones del artículo.

2 Alcanzando el entendimiento común en redes de actores diversificados

Problemas de comunicación del conocimiento están siendo, ampliamente, tratados en la literatura de la teoría organizacional en distintos contextos, enfocando, directamente o indirectamente, en mecanismos que contribuyen para aumentar el entendimiento común. Con relación a las actividades de I+D, el tema trata de causas y efectos de una comunicación ineficiente y sus impactos en el entendimiento común entre decisores y expertos (EPPLER, 2007). Según Russo y Schoemaker (1990), una

comunicación ineficiente contribuye para que muchos gestores tomen decisiones relevantes de manera inadecuada. Rambow (2000) discute la “ilusión de terminologías” enfatizando que expertos normalmente sobredimensionan la importancia de términos técnicos y se frustran cuando perciben que legos tienen dificultades en el entendimiento de esas terminologías y, por eso, no procesan el conocimiento comunicado. En ese contexto, Cantoni y Piccini (2004) tratan del “proyeccionismo”, concepto en el cual el experto, al presentar sus resultados a decisores, no personaliza, equivocadamente, su análisis al público-objetivo.

El “entendimiento común” es esencial en la ejecución de proyectos de I+D de CoPS, especialmente en aquellos que lidian con distintas culturas organizacionales y dominios del conocimiento (DAVIES et al., 2011; FRANÇA JUNIOR, 2018). CoPS son definidos como bienes de capital, sistemas, redes, unidades de control, paquetes de *software*, construcciones y servicios específicos, de alto costo y sofisticada tecnología (HOBDAY, 2000). Ellos se distinguen por ser integrados por componentes y subsistemas personalizados; fabricados en unidades o pequeños lotes; proyectados para mercados de clientes específicos con requisitos previamente definidos; y, eventualmente, regidos por decisiones políticas y estratégicas en vez de técnicas (HOBDAY, 1998) namely the creation and development of high cost, complex products and systems (CoPS. Esas características generan muchas inseguridades en los emprendimientos de I+D, especialmente en los etapas iniciales, especialmente cuando hay un nivel reducido de conocimiento común (GRANT, 1996a; SCHMICKL; KIESER, 2008) y de entendimiento común entre los actores (AXELSON, 2008; OKHUYSEN; BECHKY, 2009) en los programas o proyectos desarrollados en colaboración.

Axelson (2008, p. 11, nuestra traducción) trata la problemática del entendimiento común en gestión de I+D de la manera a continuación:

[...] el entendimiento mutuo sobre las tecnologías desarrolladas por el otro, es uno de los mayores retos que empresas hacen frente al entrar en un desarrollo de producto en colaboración. Por ejemplo, varios gestores que los conocí yo, expresaron frustraciones por no ser capaces de hacer al otro entender sus puntos de vista sobre como conducir pruebas, evaluar la calidad del producto y organizar informes y documentos. Casi siempre hubo dificultades en el entendimiento de las ideas iniciales de un proyecto, especificaciones de interfaz, y preferencias por ciertos materiales [...]. Consecuentemente, es un gran reto para gestores de empresas aprender a comunicar el conocimiento [...].

Para que el entendimiento común sea alcanzado, estudios sobre teoría organizacional sugieren que empresas reasignen a personas; formen grupos de coordinación; críen funciones específicas; y establezcan interfaces organizacionales o mecanismos de integración (GALBRAITH, 1973; GUPTA; GOVINDARAJAN, 2000; INKPEN, 1996; MAIDIQUE; HAYES, 1984).

En especial, mecanismos de integración propician condiciones para una coordinación eficiente y para que personas provenientes de distintas organizaciones interaccionan y optimicen la comunicación del conocimiento (SICOTTE; LANGLEY, 2000; SINGH, 2008; TUSHMAN; KATZ, 1980). Ellos son, generalmente, encuadrados en dos grupos distintos: mecanismos personales e impersonales (GRANT, 1996b). Mecanismos personales son aquellos que exigen intensa comunicación e interacción entre las partes, como visitas a las organizaciones socias, reuniones periódicas, intercambio de empleados, rotación entre sectores etc. Por otro lado, los mecanismos impersonales son representados por normas, reglas y rutinas.

La comunicación del conocimiento, por lo tanto, se refiere a los mecanismos de integración que organizaciones utilizan para compartir, transferir e integrar conocimientos (AXELSON, 2008). La literatura aquí tratada defiende que mecanismos de integración crean condiciones para que la comunicación del conocimiento sea facilitada en las interacciones entre organizaciones distintas. No obstante, poca atención está siendo dedicada a la problemática de la comunicación del conocimiento en redes de actores bastante diversificados, como las que desarrollan CoPS. Además de eso, ella discute el asunto destacando, principalmente, el papel de mecanismos personales, por ser considerado como los principales mecanismos de integración de conocimientos tácitos (SRIKANTH; PURANAM, 2011). Mecanismos impersonales está siendo poco explorados en la literatura, probablemente por su supuesta ineficacia en integrar conocimientos tácitos (GRANT, 1996b), y no suministrar la flexibilidad necesaria para que organizaciones, sometidas a ambientes en constante modificación, se reinventen e innoven.

3 La madurez tecnológica por medio de niveles de disposición

Métodos, herramientas y técnicas sencillas y tradicionales de gestión de proyectos son inadecuados e ineficientes para lidiar con CoPS (DAVIES et al., 2011). Los altos riesgos, imprevisibilidades, inseguridades y problemas de comunicación de los proyectos de sistemas complejos requieren abordajes más sofisticados, planeamiento de largo plazo, pero con metas y puntos de control intermediarios, y mecanismos de integración. En ese contexto, conviene emplear mecanismos de comunicación personal e impersonal (GRANT, 1996b) poner etapas en el proyecto (DAVIES; BRADY, 2016) y utilizar el concepto de prototipaje, muy empleado en el medio empresarial, para reducir los riesgos de desarrollo (SCHMICKL; KIESER, 2008; STEEN; BUIJS; WILLIAMS, 2014).

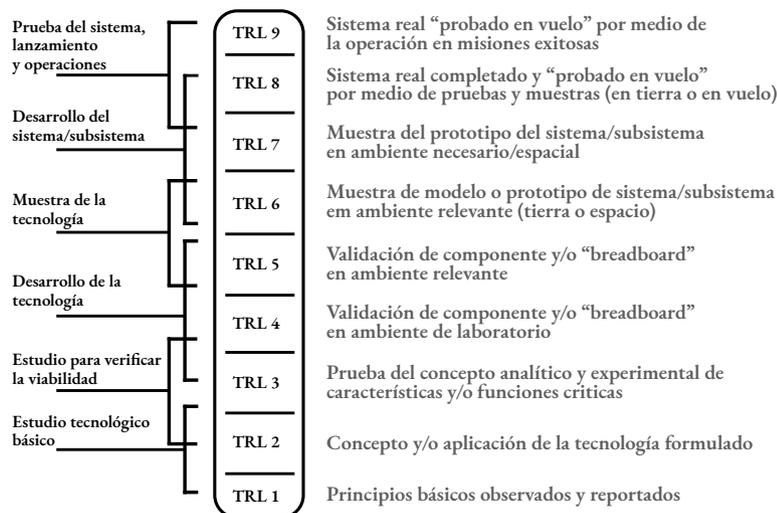
El prototipaje favorece el desarrollo rápido de componentes, subsistemas o sistemas, con el objetivo de anticipar o prever problemas de proyecto y conseguir resolverlos en etapas intermediarias de desarrollo. Es, por lo tanto, un proceso que permite interacciones entre expertos, con el enfoque volcado para interfaces de componentes (SCHMICKL; KIESER, 2008; STEEN; BUIJS; WILLIAMS, 2014). Esas versiones intermediarias de un sistema aceleran el desarrollo, disminuyen las inseguridades, y reducen la curva de aprendizaje (ELVERUM; WELO, 2015). Según estos autores, prototipos son esenciales para que los equipos del proyecto absorban el conocimiento tácito de sus socios, entiendan mejor el problema y se comuniquen, no solo entre sí, sino también entre importantes *stakeholders*.

Con el objetivo de estandarizar el largo proceso de prototipaje que fue adoptado en el desarrollo de sistemas espaciales, fue creada la herramienta TRL. Fue desarrollada, en mediados de 1970 por la NASA, la escala que suministra una medida relativa al estado de una nueva tecnología en relación al su uso para futuros sistemas espaciales. Esa escala es organizada en 9 niveles de disposición, como es mostrado en la Figura 1.

En sistemas nacionales de innovación (LUNDVALL, 2007), como el del sueco, la escala TRL está sirviendo como estructura común de evaluación de disposición tecnológica con el objetivo de la implementación de mecanismos de innovación (FRANÇA JUNIOR; LAKEMON; HOLMBERG, 2017). En un estudio sobre el sistema aeroespacial sueco, França Junior, Lakemond y Holmberg (2017) observaron que empresas, universidades, institutos de investigación y otras organizaciones utilizan la escala TRL para diseñar estrategias de desarrollo de tecnologías aeroespaciales, como la creación de una agenda nacional de innovación (INNOVAIR, 2016). En este contexto, *stakeholders* elaboran,

conjuntamente, agendas de investigación para que definan *roadmaps* y prioricen tecnologías para que sean desarrolladas en colaboración y de acuerdo con los distintos niveles TRL.

Figura 1 - Escala de disposición tecnológica



Fuente: Mankins (2009).

Otras organizaciones adoptan versiones adaptadas o modificadas de la escala TRL en sus procesos organizacionales con el objetivo de atender sus necesidades específicas (JEAN; LE MASON; WEIL, 2015). Por ejemplo, el Departamento de Defensa Norteamericano (DoD, del término en inglés *Department of Defense*) utiliza una escala de nueve niveles específica para el desarrollo de *hardware*, otra para *software* y una tercera para tecnologías biomédicas (UNITED STATES, 2009). El Departamento de Energía Norteamericano (DoE, del término en inglés *Department of Energy*) utiliza una escala levemente distinta de la original (UNITED STATES, 2008), especialmente en el nivel 9. Mientras NASA requiere para el TRL 9 un “sistema real aprobado en vuelo”, criterio que puede ser atendido con solamente una misión, el DoE especifica para este nivel un “sistema real operado bajo todas las varias condiciones esperadas”, cuya evaluación requiere, normalmente, más de una misión. Esa necesidad de adaptación de la escala TRL original es explorada por Straub (2015), que sugiere la inclusión del décimo nivel en la escala (TRL 10), para el contexto de desarrollo de sistemas espaciales. En ese nivel, inversiones son realizadas para la corrección de fallos y bugs identificados durante el uso continuado, y no solamente después de un único uso previsto en TRL 9.

En Brasil, importantes órganos gubernamentales también utilizan la escala TRL original para la reducción de riesgos e inseguridades de proyectos de I+D, sin embargo, especiales del modo de evaluación de los niveles, como la *Agência Espacial Brasileira* – AEB (Agencia Espacial Brasileña) (AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA, 2018) y el *Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial* - DCTA (Departamento de Ciencia y Tecnología Aeroespacial). En este último caso, incluso, fue desarrollada una calculadora de niveles TRL basada en Nolte, Kennedy y Dziegiel (2003) para atender especificidades de la Fuerza Aérea Brasileña (ROCHA; MELO; RIBEIRO, 2017).

Además de eso, vale mencionar otras escalas de disposición tecnológica que fueron derivadas o fueron inspiradas en la TRL. Importantes escalas en ese contexto son la escala de niveles de

disposición de manufactura (MRL, del término en inglés *Manufacturing Readines Level*), la escala de niveles de disposición de integración (IRL, del término en inglés *Integration Readines Level*) y la escala de niveles de disposición de sistemas (SRL, del término en inglés *System Readines Level*).

La escala MRL fue desarrollada por el DoD para medir la madurez de la manufactura de sistemas. En que pese también evaluar aspectos que están relacionados con la I+D UNITED STATES, 2016, la escala tiene como objetivo precipuo inferir sobre la calidad de la reproductibilidad de productos que son producidos en masa.

Preocupado con la inserción de nuevas tecnologías en productos ya existentes, el Ministerio de la Defensa del Reino Unido desarrolló, con base en la TRL, la escala IRL (SAUSER et al., 2010). Esta escala, también graduada en nueve niveles, se propone a medir el riesgo de integración de una tecnología, analizando las características de sus interfaces.

No obstante, se verificó que esas escalas no cumplían plenamente el objetivo de evaluar la disposición tecnológica de sistemas completos, compuestos de diversas tecnologías. Para rellenar tal brecha que fue creada entonces la escala SRL (SAUSER et al., 2008).

En síntesis, distintas organizaciones están utilizando el concepto de niveles de disposición tecnológica y adaptándolos de acuerdo con sus necesidades específicas, sugiriendo que la escala TRL original no atiende completamente a las necesidades de desarrollo de CoPS. Además de eso, se puede considerar que la herramienta TRL y sus variaciones accionan como un mecanismo de interacción impersonal, en la medida en que norman una estructura de lenguaje estandarizado identificando marcos críticos del proceso de madurez tecnológica (SAUSER et al., 2010). De esta manera, el uso de estas herramientas mejoran la comunicación del conocimiento en una red compleja establecida para desarrollar proyectos de I+D en colaboración (SAUSER et al., 2010).

4 Metodología

Desde un abordaje exploratorio, se investiga el papel de la escala TRL en la búsqueda del entendimiento común entre actores diversificados y en la gestión de Sistemas de Material de Empleo Militar. Estudios exploratorios son adecuados cuando se conoce muy poco de la realidad en cuestión y se pretende abrir un camino para nuevas investigaciones (YIN, 1994).

4.1 La Investigación

Con objetivo de alcanzar el objetivo propuesto, se analiza el Sistema de Ciencia, Tecnología e Innovación del Ejército Brasileño (SCTIEx) bajo la perspectiva de su órgano central, el DCT, utilizándose de investigaciones documentales sobre sus procesos de gestión estratégica.

4.2 Recogida de los Datos

Datos bibliográficos y empíricos son considerados en este trabajo. Los primeros provienen de una revisión de la literatura sobre los mecanismos de integración personales e impersonales que colaboran con la comunicación del conocimiento en la I+D de CoPS, particularmente en el uso de la herramienta TRL en ese contexto. Esa revisión alcanza artículos científicos, tesis, disertaciones y modelos de planeamiento

estratégicos de otros órganos internacionales similares al SCTIEx, como el DoD. Los datos empíricos se refieren al SCTIEx y fueron obtenidos desde investigaciones documentales en informes gubernamentales, ordenanzas ministeriales, instrucciones regulatorias, planes de gestión y agendas estratégicas. De entre esos documentos, se subrayan el Plan Estratégico del Ejército 2016-2019; la Directriz para Reestructuración de la Junta Directiva del DCT 2015; la Directriz de Transición para la Reestructuración del DCT 2015; el Plan Estratégico de CT&I 2016-2019; y el Diagnóstico y Planeamiento Estratégico del SCTEx 2010¹.

Los datos empíricos contienen informaciones sobre las estrategias de corto, mediano y largo plazos de *Organizações Militares Diretamente Subordinadas* – OMDS (Organizaciones militares directamente subordinadas) al DCT, como el *Instituto Militar de Engenharia* – IME (Instituto Militar de Ingeniería), el *Centro Tecnológico do Exército* – CTEEx (Centro Tecnológico del Ejército) y el *Centro de Avaliações do Exército* – CAEx (Centro de Evaluaciones del Ejército), así como autodiagnósticos tratando de los ambientes interno (puntos fuertes y débiles) y externo (amenazas y oportunidades) de cada una de esas OMDS. Para la ejecución de esos trabajos, fueron oídos a todos los Comandantes, a los Jefes y a los Directores de las OMDS, al Gerente Ejecutivo del *Programa Polo de Ciência e Tecnologia do Exército em Guaratiba* – PCTEG (Programa Polo de Ciencia y Tecnología del Ejército en Guaratiba) y, como invitados, a los presidentes de la *Fundação de Apoio a Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação – Exército Brasileiro* – FAPEB (Fundación de Apoyo a la Investigación, Desarrollo e Innovación – Ejército Brasileño) y de la *Fundação Ricardo Franco* – FRF (Fundación Ricardo Franco) y el Supervisor de la *Fábrica de Material de Comunicações e Eletrônica* – FMCE (Fábrica de Material de Comunicaciones y Electrónica) de la Industria de Material Bélico (IMBEL).

4.3 Análisis de los Datos

El análisis de los datos fue realizado siguiendo un abordaje abductivo utilizándose el proceso de correspondencia sugerido por Dubois y Gadde (2002), consistiendo de comparaciones sistemáticas entre observaciones empíricas y el referencial teórico. De esa manera, se buscó correlacionar problemas identificados en los diagnósticos con cuestiones teóricas relacionadas a la comunicación del conocimiento en I+D de CoPS y el uso de la herramienta TRL. Después de un proceso continuo e iterativo de revisión bibliográfica y análisis de los datos, se enfocó en la herramienta TRL como mecanismo de integración impersonal, en razón de sus posibilidades de aplicación alinearse a las necesidades de oportunidades de mejora de los procesos de gestión del SCTIEx.

Además de eso, los autores participaron de algunos importantes proyectos de I+D del DCT que se encontraban en diversas etapas de la curva de aprendizaje. No obstante, la vivencia de los autores y el proceso interactivo entre investigación bibliográfica y el análisis de los datos, incrementan la caducidad interna y la confiabilidad de la investigación exploratoria (RIEGE, 2003). Adicionalmente, con el objetivo de verificar la caducidad externa del estudio (RIEGE, 2003), se buscó capturar la perspectiva de tres integrantes-clave del DCT, a través de encuestas informales y revisión de la investigación.

Con eso, se tiene un panorama de las características de la herramienta de evaluación tecnológica TRL, un mecanismo de integración que habilita la comunicación del conocimiento y

1 Plano Estratégico do Exército 2016-2019; Diretriz para Reestruturação da Chefia do DCT 2015; Diretriz de Transição para a Reestruturação do DCT 2015; Plano Estratégico de CT&I 2016-2019; Diagnóstico e Planeamento Estratégico do SCTEx 2010.

las aspiraciones estratégicas del SCTIEx, órgano que pasa por un proceso de transformación para adecuarse a era del conocimiento e impulsar la innovación tecnológica. Desde el análisis de esos datos, se evaluó las posibilidades de aprovechamiento de la herramienta TRL en el SCTIEx.

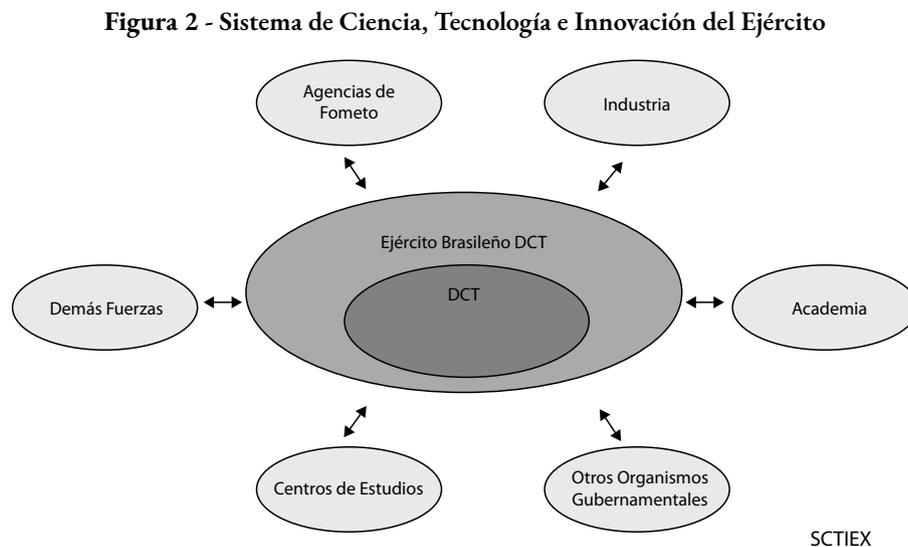
5 El sistema de ciencia tecnología e innovación del ejército (SCTIEx)

El sector de defensa brasileño es fragmentado, desarticulado y posee baja interacción entre sus actores (CUNHA; AMARANTE, 2011). Además de eso, ese sector interacciona, depende y está condicionado al Sistema Nacional de Innovación de Brasil que, a su vez, está mostrándose bastante ineficiente en convertir inversiones de innovación en resultados concretos (GALDINO, 2018). Con el intuito de modificar esta situación, ese sector está pasando por una profunda transformación, con el objetivo de crear una cultura organizacional que promueva un ambiente adecuado a la innovación (FRANCO AZEVEDO, 2018). Con ese propósito, el SCTIEx, componente fundamental del sector de defensa, participa activamente de ese proceso de cambio.

5.1 El proceso de transformación

El Sistema de Ciencia y Tecnología del Ejército (SCTIEx) “se destina a planear, orientar, coordinar, controlar y ejecutar las actividades científicas y tecnológicas, que están relacionadas con los Sistemas de Material de Empleo Militar (SMEM) y sus influencias en las áreas de la Doctrina Militar Terrestre, de la Logística y del Personal” (BRASIL, 1994, nuestra traducción). A lo largo del tiempo, ese sistema pasó por transformaciones, con el objetivo de adecuarlo a los cambios ocurridos en los escenarios nacional e internacional (PRADO FILHO, 2014).

La Figura 2 muestra la estructura actual del SCTIEx, compuesta por organizaciones militares y civiles, públicas y privadas que interacciona en el sentido de promover la Ciencia, Tecnología e Innovación de interés del Ejército y del País.



Fuente: Adaptado de Brasil (2012).

La relevancia del SCTIEx en relación a la comunicación del conocimiento proviene de las siguientes razones. De primero, la mayoría de las investigaciones sobre este asunto considera empresas como elemento focal y el principal medio de coordinación de la red. Así, la escoba de un órgano gubernamental con papel similar de coordinar y direccionar el desarrollo tecnológico puede traer conocimientos adicionales a la literatura, teniendo el objetivo de la prominencia del Estado en asumir riesgos en la madurez de tecnologías de punta en etapas iniciales de la innovación. Esos riesgos difícilmente son asumidos por empresas, que aprovechan los desbordes de esas tecnologías, fomentadas por el Estado, para que desarrollen sus productos (MAZZUCATO, 2014).

De segundo, el DCT es el elemento central de un sistema que emprende varios proyectos estratégicos, mueve mucho dinero, da empleo a miles de personas y crea alianzas con pequeñas, medianas y grandes empresas de los más diversificados tipos de actuación, y con universidades, institutos de investigación y órganos de fomento. SCTIEx mantiene una estrecha relación con la Ciencia, Tecnología e Innovación nacional y es importante actor del sector de Defensa responsable por potenciales desbordes para otras áreas tecnológicas (LESKE, 2013).

En Tercer lugar, el SCTIEx forma una enorme y compleja red de actores diversificados cuyos proyectos de I+D son de elevado costo, largo plazo y poseen altos grados de inseguridad y riesgos tecnológicos. Esas características son típicas de los proyectos de Sistemas de Productos Complejos (HOBDDAY, 1998) que precisan integrar una gran variedad de conocimientos que difícilmente están disponibles en una única organización. No obstante, la naturaleza compleja de la red del SCTIEx subraya la centralidad de la búsqueda por el entendimiento común.

Para subsidiar el proceso de transformación del SCTIEx que se encuentra en curso, el DCT realizó diagnósticos en sus organizaciones conectadas a las áreas de enseñanza, investigación, desarrollo e innovación, como el IME, el CTEEx, y el CAEx, abarcando las principales oportunidades de mejora y estrategias diseñadas que están relacionadas con la interacción de esas organizaciones con el ambiente externo y que, por lo tanto, indican la necesidad de desarrollo y adopción de mecanismos de integración.

IME es la Organización Militar responsable por la formación del ingeniero militar y por la enseñanza de ingeniería (graduación y postgrado) y realización de investigación básica y aplicada, particularmente, a los proyectos del SCTIEx. Del diagnóstico que fue elaborado por IME, se verificó que hay poca integración con el CTEEx y con la industria. Proveniente de eso, según la Directriz EB-80-D-07.006 (Implantación del Proyecto del Nuevo Instituto Militar de Ingeniería)², IME precisa reestructurar el postgrado con el objetivo de que sus investigadores se involucren cada vez más en proyectos de I+D, impulsando la capacidad de innovación del sistema. Además de eso, fue identificada la necesidad de acciones institucionales para promocionar mayor integración con empresas y otras organizaciones, utilizándose un modelo de gestión que pueda crear una visión que dirija el esfuerzo de cambio, comunique la visión, y atraiga a colaboradores alineados con esta visión.

CTEEx realiza investigación científica aplicada, desarrollo experimental, asesoramiento científico-tecnológico y aplicación del conocimiento con el objetivo de la obtención de SMEM de interés del Ejército. Tal obtención puede ser realizada con apoyo de empresas, mediante la celebración de contratos; con la comunidad científica; o en alianza con empresas, ICT y universidades. CTEEx participa de importantes proyectos del Ejército, de entre ellos: Mísil Táctico de Cruzeiro AV-TM 300; Monóculo

2 Implantação do Projeto do Novo Instituto Militar de Engenharia.

OLHAR VDN; Mortero Leve Anti-carga 60 mm; Mísil Superficie-Superficie 1.2 AC (MS 1.2 AC); Radar SABER M200; Radar SABER M60; Radio Definida por Software (RDS); Reparo de Metralhadora Automatizado X (REMAX); Simulador de Helicópteros Esquilo y Fennec (SHEFE); Vehículo de Policía Oficial Leve de Empleo General Aero transportable (VLEGA GAÚCHO)³.

Del diagnóstico que fue realizado por CTE_x, se verificó: poca integración con universidades y otros centros de investigación; pocas empresas nacionales capacitadas e interesadas en desarrollar SMEM; insuficiencia coyuntural de oferta de recursos financieros por órganos de fomento; distribución heterogénea y desigual de recursos financieros; dispersión de los esfuerzos de las partes involucradas para alcanzar los objetivos; ausencia de herramientas, sistemas y prácticas formales que contribuyan en los procesos de toma de decisión; bajo estándar de formalización del análisis de riesgo; baja madurez en la gestión de procesos y proyectos; y precarios indicadores de desempeño.

Proveniente de lo que ha sido mencionado, CTE_x definió que precisa incrementar la integración con la comunidad científica (IME incluso) y con empresas; dominar tecnologías críticas que garanticen ventajas estratégicas y operativas al EB; perfeccionar la gestión de proyectos de I+D; y estructurar la gestión de la información y del conocimiento con una infraestructura de Tecnología de Información compatible.

La misión precípua del CAEx es realizar evaluación de prototipos y de lotes pilotes de SMEM, de productos oriundos de la Base Industrial de Defensa (BID) nacional, o importados por el EB, y de Productos Controlados por el Ejército (PCE)⁴, así como desarrollar investigaciones en metrología. En su diagnóstico estratégico, se indicó la ausencia de normas documentadas y diseminadas de los procesos de evaluación de SMEM y se identificó, como oportunidad, la posibilidad de fomentar la industria de productos de defensa por intermedio de colaboraciones técnicas, aprovechando el éxito del proceso de evaluación de PCE y del buen relacionamiento con las empresas.

Considerando las informaciones que han sido mencionadas, el DCT elaboró el auto-diagnóstico del Departamento resultando en varias iniciativas estratégicas que en esencia evidenciaban la necesidad de desarrollar metodologías, herramientas y procedimientos para:

- Mensurar la innovación;
- Desarrollar *roadmaps* tecnológicos;
- Apoyar el planeamiento estratégico de I+D de las OMDs; y
- Facilitar la integración de *stakeholders* del SCTIEx en un modelo de Hélice Tríplice.

5.2 Las especificidades del SCTIEx

La operacionalización de las iniciativas, que han sido mencionadas, exige estudios profundos y modelos de gestión sofisticados que precisan ser propuestos, probados y validados. Esos estudios y modelos deben considerar los atributos señalados que particularizan el SCTIEx y redes

3 Reparo de Metralhadora automatizada X (REM3AX); Simulador de Helicópteros Esquilo and Fennec (SHEFE); Viatura Leve de Empleo Geral Aerotransportável (VLEGA GAÚCHO)

4 Base Industrial de Defesa (BID); Produtos Controlados pelo Exército (PCE).

similares, así como pueden aprovechar el conocimiento disponible en la literatura especializada. De los atributos que particularizan el SCTIEx, dos merecen destaque.

De primero, la escala TRL abarca solamente parte del ciclo de vida de los sistemas complejos (SAUSER et al., 2008). Al analizar el ciclo de vida de los materiales de empleo militar del Ejército, Lima (2007) indica la existencia de seis etapas de acuerdo con el Cuadro 1.

Cuadro 1 - Ciclo de Vida de los Materiales del Ejército Brasileño

| 1ª Etapa | 2ª Etapa | 3ª Etapa | 4ª Etapa | 5ª Etapa | 6ª Etapa |
|--|-----------------------------|----------------------------------|--------------------------|-------------|------------|
| Recopilación de las Necesidades y Formulación Conceptual | Planeamiento y Programación | Investigación y Desarrollo (I+D) | Producción o Adquisición | Utilización | Alienación |

Fonte: Lima (2007).

En la 1ª Etapa son identificadas las necesidades, son definidas las estrategias y prioridades, y son elaborados los requisitos operativos y técnicos. En la 2ª Etapa, la alta administración del Ejército decide si el material deberá ser adquirido en el mercado (nacional o internacional) o ser desarrollado por SCTIEx por medio de I+D. Una vez decidido, ocurre la inclusión de un proyecto de adquisición o desarrollo en el planeamiento de la Fuerza Terrestre. En la 3ª etapa, caso la decisión de obtención involucre I+D, ocurrirán las siguientes sub-etapas: I+D del sistema y generación del prototipo; evaluación del prototipo; producción de un lote piloto; y evaluación del lote piloto. En la 4ª Etapa ocurre la adquisición del producto, el su recepción, almacenado y distribución. En la 5ª Etapa ocurrirá la utilización y la detección de debilidades, fallos y oportunidades de mejoras, generando la posibilidad de innovaciones incrementales, así como la recogida de datos que subsidiarán la I+D de nuevas generaciones de los productos, con posibilidad de innovaciones más impactantes. Con el pasar del tiempo, las informaciones que sean recogidas podrán apoyar decisiones de modernización, perfeccionamiento o alienación. En la 6ª y última etapa, ocurre la desactivación y la retirada del material del inventario, su recogida y alienación.

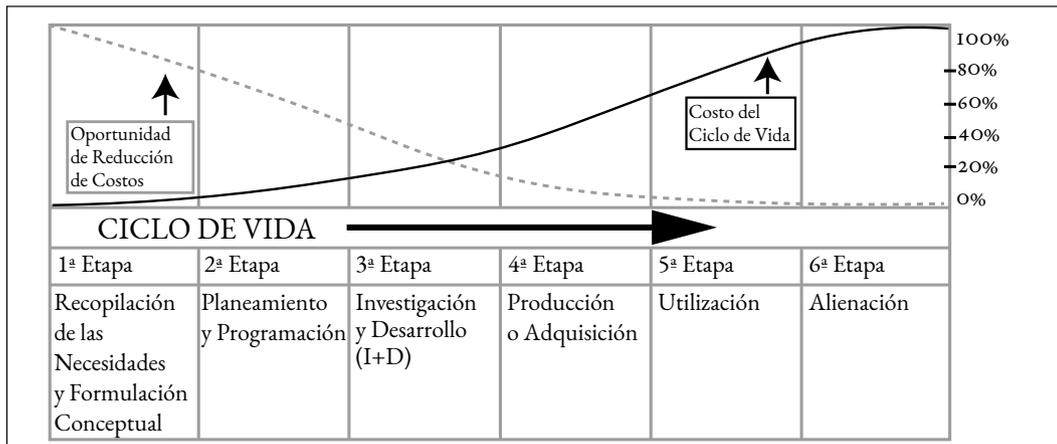
De esas seis etapas, se observa que una eventual utilización de la escala TRL original abarcaría solamente una parte de la tercera etapa, o sea, la de I+D. No obstante, las otras del ciclo de vida son igualmente importantes. Por ejemplo, para muchos materiales, el costo de utilización (5ª Etapa) es alrededor del 70% del costo total del ciclo de vida, mientras que el costo de desarrollo es alrededor del 20% (SAÚDE, 2010) como indicado en el Cuadro 2.

Cuadro 2 - Distribución porcentual de los costos del ciclo de vida de algunos equipos

| Sistema | Custos de P&D | Custos de Aquisição | Custos de Operação e Manutenção |
|------------------|---------------|---------------------|---------------------------------|
| Aviones | El 20% | El 18% | El 62% |
| Navíos de Guerra | El 2% | El 23% | El 75% |
| Mísiles | El 52% | El 30% | El 18% |

Fonte: Paulo (2006).

Además de eso, como discutido por Barringer y Weber (1996), en las dos primeras etapas ocurren las mayores oportunidades de reducción de costos (Figura 3), evidenciándose la importancia de una eficiente gestión de esas etapas del ciclo de vida.

Figura 3 - Evolución de los costos de acuerdo con el Ciclo de Vida de los Materiales

Fuente: Adaptado de Barringer y Weber (1996).

Las limitaciones de la escala TRL fueron indicadas en la Sección 3. Varias organizaciones utilizan distintas escalas de disposición son basadas en la TRL para atender sus necesidades, como las escalas MRL, SRL y IRL y hasta la escala TRL modificada con niveles adicionales. A pesar de esas variaciones incrementar el alcance del concepto de la disposición tecnológica, todavía hay brechas importantes con relación a su uso en redes complejas como la formada por el SCTIEx.

Por ejemplo, la escala original no lleva en cuenta la producción y la evaluación del lote piloto de la 3ª Etapa. A pesar de a escala MRL involucrar esas actividades, ella no considera las particularidades de la Base Industrial de Defensa brasileña, por no evaluar los riesgos y óbices enfrentados por la dependencia de componentes importados, irregularidades de flujo de recursos financieros para la realización de I+D en curso y la inconstancia de las compras gubernamentales. Tales aspectos impactan negativamente en las capacidades de madurez de actividades de I+D y de fabricación de SMEM. Otra importante etapa no tratada por los niveles de disposición tecnológica es la 6ª. Aunque Straub (2015) proponga la inclusión del nivel 10 en la escala TRL para tratar de la utilización del producto por el usuario, todavía hay muchas cuestiones para que sean aclaradas con relación las necesidades de modernización, perfeccionamiento, descarte o hasta mismo la reingeniería, en este caso, retornando las tecnologías que integran el producto a niveles iniciales de una escala TRL.

Además de eso, los productos de interés del EB poseen enorme variedad en términos de complejidad. El EB gestiona el ciclo de vida de productos complejos como misiles, carros de combate y radares, así como de productos que son producidos en masa, como uniforme, fusiles de asalto y chalecos balísticos. Entre esos extremos, hay productos que comparten características de esas dos clases de productos, como VANT de largo alcance, que poseen alto costo y son destinados para mercados de clientes específicos, pero que también pueden ser producidos en masa e integrados en gran tamaño por componentes de estanterías (HAMBLING, 2015). Esa variedad de sistemas y de productos es tratada en la literatura de CoPS en términos de grados de complejidad (HOBDA, 1998).

No obstante, la escala TRL, que fue originalmente creada para tecnologías y sistemas espaciales altamente complejos, no atiende las necesidades de redes como el SCTIEx, por no flexibilizarse para productos y sistemas menos complejos y que no precisan alcanzar todos los niveles de la escala; ni abarcar todas las etapas del ciclo de vida de SMEM que precisan ser gestionadas por SCTIEx.

6 Propuesta para estudios futuros: gestión de sistemas complejos basada en disposición tecnológica

A continuación son presentadas propuestas de estudios con el objetivo de rellenar las brechas identificadas en la sección anterior.

6.1 Escala de disposición tecnológica personalizada para redes complejas

En que pese los beneficios provenientes de la adopción de una escala de disposición en redes complejas similares al SCTIEx, las especificidades de ese tipo de red no pueden ser atendidas por escalas disponibles en la literatura, requiriendo personalizaciones. Conviene subrayar que esas personalizaciones deben considerar como premisas la adherencia con la escala TRL tradicional, para facilitar la comunicación del conocimiento con entidades exógenas a la red, incluso de otros países. Además de eso, es necesario la elaboración de una propuesta de escala de disposición tecnológica que abarque las principales etapas del ciclo de vida de los productos complejos (Figura 3), y que considere las diferencias de los grados de complejidad de los productos de interés del EB. En ese propósito, está la necesidad de responder las cuestiones a continuación:

1. ¿Cuáles etapas del ciclo de vida una escala personalizada debe abarcar? Y, ¿Con cuántos y cuáles niveles de disposición?
2. ¿Cómo encuadrar/auditar la madurez de un producto o sistema en un determinado nivel?
3. ¿Cómo la importancia de la adopción de la escala en la gestión del ciclo de vida del material es influenciada por la complejidad del producto o sistema?

6.2 Planeamiento estratégico de I+D basado en disposición tecnológica

Como generalmente los recursos financieros son limitados, órganos focales de una red compleja no tiene condiciones de participar efectivamente de todos los emprendimientos de interés. De esa manera, en las etapas iniciales del ciclo de vida (Etapas 1 y 2), para que se priorice áreas tecnológicas críticas y se decida sobre la manera e intensidad adecuada de involucramiento en un emprendimiento, es importante adoptar modelos de gestión estratégica que optimice el empleo de recursos humanos y financieros. Para ello, gestores precisan de informaciones fidedignas sobre los niveles de disposición de universidades, empresas, centros de investigación en las áreas y tecnologías críticas.

Un análisis basada en niveles de disposición tecnológica puede revelar algunos escenarios con distintas implicaciones cuanto a la asignación de recursos humanos y financieros, involucramiento de *stakeholders*, formación de personal, establecimiento de plazos, desarrollo de tecnologías duales y objetivos a ser alcanzados. Por ejemplo, un área tecnológica de interés de la Fuerza y con una capacidad de I+D nacional situada de los niveles 3 a 5 de la escala TRL, indica un potencial de desarrollo de tecnologías genéricas capaz de atender más de una aplicación. Con el uso de *roadmaps* tecnológicos, se puede elaborar una agenda común de I+D entre los actores de la Hélice Tríplice

(INNOVAIR, 2016) con el objetivo del prototipaje y el avance de la madurez de las tecnologías críticas. No obstante, se desvelan las siguientes cuestiones de investigación:

1. ¿Cómo definir la criticidad de tecnologías en un contexto nacional?
2. ¿Cómo mapear organizaciones nacionales e internacionales suministradoras de tecnologías críticas de acuerdo con el nivel de disposición tecnológica?
3. ¿Cómo una escala de disposición tecnológica puede auxiliar en la elaboración de *road-maps* tecnológicos y agendas comunes de I+D entre actores de una red compleja?
4. ¿Cómo incluir el concepto de disposición tecnológica en la metodología de gestión del ciclo de vida?

6.3 Análisis de viabilidad técnica y riesgos de I+D basado en disposición tecnológica

Para el DoD, una Tecnología Crítica puede ser definida como perteneciente a un sistema de producto complejo, siendo esencial para atender a los requisitos técnicos y operativos establecidos (dentro de costos y plazos aceptables) cuyo uso o aplicación es nuevo o presenta elevado riesgo tecnológico durante su desarrollo (UNITED STATES, 2015). Al intentar realizar el desarrollo de un producto cuyas tecnologías críticas poseen TRL bajo, se asume un gran riesgo de que óbices y retos de I+D sean subestimados. Eso ocasiona imprecisiones de estimativas de presupuestos y plazos, propiciando chances de incremento de costos de desarrollo y de dilación del cronograma (UNITED STATES, 2015), causando, por su turno, inseguridad y frustraciones en los *stakeholders*.

En un estudio realizado en 62 programas de I+D del DoD, la *Government Accountability Office* – GAO (Oficina de Rendición de Cuentas del Gobierno de los EE.UU) observó que el 33% de esos programas fueron iniciados con algunas tecnologías críticas inmaduras (Abajo de TRL 7). Esos programas sufrieron una adición mediana de costos en el 32% y un retraso mediano de 20 meses. En contraparte, los demás experimentaron una adición de costo de solamente el 2.6% y un retraso mediano de 1 mes (UNITED STATES, 2015).

Con base en esos estudios, varios países adoptan los niveles 6 o 7 de la escala TRL como marco crítico que indica la viabilidad técnica de se iniciar un proyecto de I+D con el objetivo la concepción de un producto mediante integración de varias tecnologías críticas. Mientras las tecnologías críticas no alcanzan esos niveles, la oficina gubernamental de contabilidad de Estados Unidos (UNITED STATES, 2015) recomienda que el esfuerzo de I+D recaiga en sus madureces.

Ese abordaje permite anunciar la siguiente cuestión fundamental: Como elaborar una metodología de análisis de riesgos y viabilidad técnica basada en disposición tecnológica, para toma de decisión sobre:

- ¿comprar en el mercado internacional, o realizar I+D (en el país o en colaboración)?
- ¿contratar la integración para concepción de un producto, o contratar la I+D para avanzar la madurez de una tecnología crítica?

6.4 Mecanismo de comunicación del conocimiento

Del análisis de la literatura sobre la herramienta TRL se verificó que ella puede regular el entendimiento común al identificar etapas de la I+D de tecnologías que precisan ser maduras. Una vez que esos marcos de madurez estén estandarizados en una red compleja de actores diversificados, decisores y gestores consiguen tener una visión más amplia y detallada del proceso de evolución tecnológica para la concepción de productos, facilitando así el planeamiento estratégico de proyectos y programas de I+D (de integración y madurez de subsistemas) a lo largo del ciclo de vida del material. En ese propósito, el prototipaje de una tecnología y su encuadramiento en un nivel TRL codifica el conocimiento tácito de los expertos involucrados.

Esto sugiere que la herramienta de disposición tecnológica, un mecanismo impersonal, puede facilitar el uso de mecanismos personales y la integración de conocimientos tácitos y no solamente de conocimientos codificados. Luego, se suscita la posibilidad de que la herramienta TRL, además de representar un mecanismo impersonal (generalmente utilizado para integrar conocimientos ya codificados) (SRIKANTH; PURANAM, 2011), posea atributos de mecanismos personales considerando su potencial en proveer el entendimiento común y posibilitar la codificación de conocimientos tácitos.

De modo a confrontar estas expectativas sobre la escala TRL, las siguientes cuestiones pueden ser recopiladas:

- ¿Cómo la herramienta TRL puede promocionar el entendimiento común entre actores diversos de una red compleja?
- ¿Cuál es el papel de la escala TRL en la codificación de conocimientos tácitos?

7 Conclusión

En este artículo fue verificado que la escala TRL abarca solamente una parte del ciclo de vida de SMEM. Por otro lado, se verificó que la adopción de una escala de disposición tecnológica personalizada podrá incrementar la eficiencia de la gestión de sistemas de productos complejos y subsidiar decisiones que van más allá de la I+D.

Como ese asunto es poco explorado en la literatura, este trabajo planteó importantes cuestiones en abierto, analizando un caso específico, el SCTIEx. Las respuestas de las cuestiones presentadas pueden traer enormes beneficios no solamente para el aludido sistema, elevando el nivel de la gestión de la Ciencia, Tecnológica e Innovación en el ámbito del Ejército Brasileño, sino también para la sociedad como un todo, faz a los desbordes tecnológicos que el sector de defensa es capaz de generar, contribuyendo para el crecimiento económico y desarrollo nacional. Teniendo como objetivo que el SCTIEx posee similitudes con otras redes que lidian con productos complejos, las investigaciones emprendidas en el sentido de obtenerse respuestas para las cuestiones en comento podrán contribuir no solamente con la diversificada de la comunidad de expertos que trabajan con SMEM, pero también con la literatura de CoPS.

Referencias

AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA. **Introdução ao IMATEC como ferramenta de avaliação de maturidade tecnológica em projetos espaciais**. Brasília, DF: Agência Espacial Brasileira, 2018.

AXELSON, M. **Enabling knowledge communication between companies**. Stockholm: Stockholm School of Economics, 2008.

BARRINGER, H. P.; WEBER, D. P. Life cycle cost tutorial. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE OF PROCESS PLANT RELIABILITY, 5., 1996, Houston. **Anais [...]**. Houston: Gulf Publishing Company, 1996.

BRASIL. Exército. Portaria nº 270, de 13 de junho de 1994. Aprova as Instruções Gerais para o Funcionamento do Sistema de Ciência e Tecnologia do Exército (IG 20-11). **Boletim do Exército**, Brasília, DF, n. 31, 1994.

BRASIL. Exército. Portaria nº 032-DCT, de 11 de setembro de 2012. Aprova a Diretriz de Iniciação do Projeto de Transformação do Sistema de Ciência e Tecnologia do Exército (SCTEx). **Boletim do Exército**, Brasília, DF, n. 38, p. 30-34, 2012.

CANTONI, L.; PICCINI, C. **Il sito del vicino è sempre più verde**: la comunicazione fra committenti e progettisti di siti internet. Milano: FrancoAngeli, 2004.

CUNHA, M. B.; AMARANTE, J. C. O livro branco e a base científica, tecnológica, industrial e logística de defesa. **Revista da Escola de Guerra Naval**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 1, p. 11-32, 2011.

DAVIES, A.; BRADY, T. Explicating the dynamics of project capabilities. **International Journal of Project Management**, Amsterdam, v. 34, n. 2, p. 314-327, 2016.

DAVIES, A.; BRADY, T.; HOBDAV, M.; PRENCIPE, A. Innovation in complex products and systems: implications for project-based organizing. *In*: CATTANI, G.; FERRIANI, S.; FREDERIKSEN, L.; TÄBUE, F. **Project-based organizing and strategic management**. Bingley: Emerald, 2011. p. 3-26. (Advances in Strategic Management, 28).

DUBOIS, A.; GADDE, L. Systematic combining: an abductive approach to case research. **Journal of Business Research**, Amsterdam, v. 55, n. 7, p. 553-560, 2002.

ELVERUM, C. W.; WELO, T. On the use of directional and incremental prototyping in the development of high novelty products: two case studies in the automotive industry. **Journal of Engineering and Technology Management**, Amsterdam, v. 38, p. 71-88, 2015.

EPPLER, M. J. Knowledge communication problems between experts and decision makers: an overview and classification. **The Electronic Journal of Knowledge Management**, Sonning Common, v. 5, n. 3, p. 291300, 2007.

FRANÇA JUNIOR, J. A. The coordination of complex product systems projects: a case study of an R&D multi-party alliance. **International Journal of Innovation Management**, London, v. 23, n. 3, 2018. Disponible en: <https://bit.ly/2vdMUoJ>. Accedido en: 21 mar. 2019.

FRANÇA JUNIOR, J. A.; LAKEMON, N.; HOLMBERG, G. Mechanisms of innovation in complex products systems: an innovation system approach. **Revista Militar de Ciência e Tecnologia**, Rio de Janeiro, v. 34, n. 1, p. 47-54, 2017.

FRANCO AZEVEDO, C. E. Os elementos de análise da cultura de inovação no setor de defesa e seu modelo tridimensional. **Coleção Meira Mattos**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 45, p. 145-167, 2018.

GALBRAITH, J. R. **Designing complex organizations**. Boston: Addison-Wesley, 1973.

GALDINO, J. F. Sistema nacional de inovação do Brasil: uma análise baseada no índice global de inovação. **Coleção Meira Mattos**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 45, p. 129-144, 2018.

GRANT, R. M. Prospering in dynamically-competitive environments: organizational capability as knowledge integration. **Organization Science**, Ann Arbor, v. 7, n. 4, p. 375-387, 1996a.

GRANT, R. M. Toward a knowledge-based theory of the firm. **Strategic Management Journal**, Hoboken, v. 17, n. esp, p. 109-122, 1996b.

GUPTA, A. K.; GOVINDARAJAN, V. Knowledge flows within multinational corporations. **Strategic Management Journal**, Hoboken, v. 21, n. 4, p. 473-496, 2000.

HAMBLING, D. **Swarm troopers: how small drones will conquer the world**. Venice: Archangel Ink, 2015.

HOBDA, M. Product complexity, innovation and industrial organisation. **Research Policy**, Amsterdam, v. 26, n. 6, p. 689-710, 1998.

HOBDA, M. The project-based organisation: an ideal form for managing complex products and systems? **Research Policy**, Amsterdam, v. 29, n. 7-8, p. 871-893, 2000.

INKPEN, A. C. Creating knowledge through collaboration. **California Management Review**, Thousand Oaks, v. 39, n. 1, p. 123-140, 1996.

INNOVAIR. NRA Flyg 2016: New challenges – and new solutions. [Stockholm]: Innovair, 2016.

JEAN, F.; LE MASSON, P.; WEIL, B. **Sourcing innovation**: probing Technology Readiness Levels with a design framework. *In*: SIG INNOVATION EURAM, 2015, Paris. **Proceedings** [...]. Paris: Mines ParisTech, 2015.

LESKE, A. D. C. **Inovação e políticas na indústria de defesa brasileira**. 2013. Tese (Doutorado em Economia) – Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

LIMA, F. C. **O processo decisório para obtenção de materiais de emprego militar no Exército Brasileiro**. 2007. Dissertação (Mestrado em Administração Pública) – Escola Brasileira de Administração Pública e de Empresas, Fundação Getúlio Vargas, Rio de Janeiro, 2007.

LUNDEVALL, B. National innovation systems – analytical concept and development tool. **Industry and Innovation**, Abingdon, v. 14, n. 1, p. 95-119, 2007.

MAIDIQUE, M. A.; HAYES, R. H. The art of high-technology management. **MIT Sloan Management Review**, Cambridge, v. 25, n. 2, p. 17-31, 1984.

MANKINS, J. C. Technology readiness assessments: a retrospective. **Acta Astronautica**, Amsterdam, v. 65, n. 9-10, p. 1216-1223, 2009.

MAZZUCATO, M. **O Estado empreendedor**: desmascarando o mito do setor público vs. o setor privado. São Paulo: Portfolio Penguin, 2014.

NOLTE, W. L.; KENNEDY, B. C.; DZIEGIEL, R. J. Technology Readiness Calculator. *In*: ANNUAL SYSTEMS ENGINEERING CONFERENCE, 6., 2003, San Diego. **Proceedings** [...]. Virgínia: NDIA, 2003. Disponível em: <https://bit.ly/2WgwRlC>. Acessado em: 22 mar. 2019.

OKHUYSEN, G. A.; BECHKY, B. A. Coordination in organizations: an integrative perspective. **The Academy of Management Annals**, New York, v. 3, n. 1, p. 463-502, 2009.

PAULO, J. S. **O mercado único da defesa**. Lisboa: Prefácio, 2006.

PRADO FILHO, H. V. **A transformação do Exército Brasileiro e o novo sistema de ciência, tecnologia e inovação do exército**: contribuições para a soberania nacional. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Altos Estudos de Política e Estratégia) – Escola Superior de Guerra, Rio de Janeiro, 2014.

RAMBOW, R. **Experten-Laien-Kommunikation in der Architektur**. Münster: Waxmann, 2000.

RIEGE, A. M. Validity and reliability tests in case study research: a literature review with “hands-on” applications for each research phase. **Qualitative Market Research**, Bingley, v. 6, n. 2, p. 75-86, 2003.

ROCHA, D.; MELO, F. C. L.; RIBEIRO, J. Uma adaptação da metodologia TRL. **Revista Gestão em Engenharia**, São José dos Campos, v. 4, n. 1, p. 45-56, 2017.

RUSSO, J. E.; SCHOEMAKER, P. J. H. **Decision traps**: ten barriers to brilliant decision-making and how to overcome them. New York: Simon & Schuster, 1990.

SAÚDE, N. **O custo total do ciclo de vida de sistemas e equipamentos militares**. 2010. Trabalho de Investigação Individual (Curso de Estado-Maior Conjunto) – Instituto Universitário Militar, Lisboa, 2010.

SAUSER, B. J.; GOVE, R.; FORBES, E.; RAMIREZ-MARQUEZ, J. E. Integration maturity metrics: development of an integration readiness level. **Information Knowledge Systems Management**, Amsterdam, v. 9, n. 1, p. 17-46, 2010.

SAUSER, B. J.; RAMIREZ-MARQUEZ, J. E.; MAGNAYE, R. B.; TAN, W. System maturity indices for decision support in the defense acquisition process. *In*: ANNUAL ACQUISITION RESEARCH SYMPOSIUM OF THE NAVAL POSTGRADUATE SCHOOL, 5., 2008, Monterey. **Proceedings** [...]. Monterey: Naval Postgraduate School, 2008.

SCHMICKL, C.; KIESER, A. How much do specialists have to learn from each other when they jointly develop radical product innovations? **Research Policy**, Amsterdam, v. 37, n. 3, p. 473-491, 2008.

SICOTTE, H.; LANGLEY, A. Integration mechanisms and R&D project performance. **Journal of Engineering and Technology Management**, Amsterdam, v. 17, n. 1, p. 1-37, 2000.

SINGH, J. Distributed R&D, cross-regional knowledge integration and quality of innovative output. **Research Policy**, Amsterdam, v. 37, n. 1, p. 77-96, 2008.

SRIKANTH, K.; PURANAM, P. Integrating distributed work: comparing task design, communication, and tacit coordination mechanisms. **Strategic Management Journal**, Hoboken, v. 32, n. 8, p. 849-875, 2011.

STEEN, M.; BUIJS, J.; WILLIAMS, D. The role of scenarios and demonstrators in promoting shared understanding in innovation projects. **International Journal of Innovation and Technology Management**, Singapore, v. 11, n. 1, p. 1-21, 2014.

STRAUB, J. In search of technology readiness level (TRL) 10. **Aerospace Science and Technology**, Amsterdam, v. 46, p. 312-320, 2015.

TUSHMAN, M. L.; KATZ, R. External communication and project performance: an investigation into the role of gatekeepers. **Management Science**, Ann Arbor, v. 26, n. 11, p. 1071-1085, 1980.

UNITED STATES. Department of Energy. Office of Environmental Management. **Technology Readiness Assessment (TRA) / Technology Maturation Plan (TMP) Process Guide**. Washington, DC: Department of Energy, 2008.

UNITED STATES. Department of Defense. **Technology Readiness Assessment (TRA) Deskbook**. Washington, DC: Department of Defense, 2009. Disponível em: <https://bit.ly/2untqxJ>. Acessado em: 22 mar 2019.

UNITED STATES. Government Accountability Office. Defense acquisitions: assessments of selected weapon programs. **Report to Congressional Committees**, Washington, DC, n. GAO-15-342, 2015.

UNITED STATES. Department of Defense. **Manufacturing Readiness Level (MRL) Deskbook**. Washington, DC: OSD Manufacturing Technology Program; The Joint Service/ Industry MRL Working Group, 2016. Disponível em: <https://bit.ly/2WaJuie>. Acesso em 22 mar. 2019.

YIN, R. K. **Case study research: design and methods**. 2nd ed. Thousand Oaks: Sage, 1994.