

ISSN: 2594-0937

REVISTA ELECTRÓNICA MENSUAL

# Debates sobre Innovación

DICIEMBRE  
2019

VOLUMEN 3  
NÚMERO 1

XVIII Congreso Latino Iberoamericano de Gestión Tecnológica  
ALTEC 2019 Medellín



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD  
AUTÓNOMA  
METROPOLITANA  
Unidad Xochimilco



MEGI  
MAESTRÍA EN ECONOMÍA, GESTIÓN  
Y POLÍTICAS DE INNOVACIÓN



LALICS

LATIN AMERICAN NETWORK FOR ECONOMICS OF LEARNING,  
INNOVATION AND COMPETENCE BUILDING SYSTEMS

# Modelo de Madurez del *Computer Integrated Mining* (CIMG) Aplicado a la Gran Minería a Tajo Abierto del Perú: Estudio de Casos

Yannick Patrick Carrasco Merma  
Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú  
[yannick.carrasco@pucp.pe](mailto:yannick.carrasco@pucp.pe)

## Resumen

La visión estratégica del Perú de cara al Bicentenario, apunta hacia la consolidación de la actividad minera. Frente a este escenario de oportunidad para el país, conviene rescatar aún más el aporte de esta actividad económica para con la investigación, desarrollo tecnológico e innovación. Si bien en los últimos años se ha entendido que los procesos de producción mineros dan como resultado *commodities*; hay una serie de fases en la operación minera donde se aplican diversos cambios, reducciones y transformaciones sobre la base de la tierra extraída; y que muchas veces no se toman en cuenta como un aspecto de valor agregado. En este sentido, un elemento idóneo para la comprensión de este sector, es el reconocimiento de su asimilación tecnológica, principalmente en el nivel madurez del concepto de *Computer Integrated Mining* (CIMG). Es así que el presente trabajo tiene por objetivo evaluar el nivel de madurez del *Computer Integrated Mining* (CIMG) en la minería de tajo abierto en el Perú. La metodología de la investigación tiene un carácter descriptivo y cualitativo, a partir de Estudio de Casos en cinco empresas del sector. La unidad de análisis del estudio es el modelo de madurez del *Computer Integrated Mining* (CIMG) en la gran minería a tajo abierto del Perú. Las principales preguntas de investigación son: ¿En qué nivel de madurez del uso del CIMG se encontrarían las grandes unidades mineras de tajo abierto en el Perú? Como resultado, se tiene que la mayoría de empresas poseen diversos niveles de madurez de CIMG; no habiendo homogeneidad en el sector.

**Palabras Clave:** Modelo de Madurez, *Computer Integrated Mining*, CIMG, Innovación Operativa

---

## 1. Introducción

Frente a la expectativa del Bicentenario del Perú, una de las actividades que aún mantiene su foco de interés en materia de impulso y promoción económica, es la minería. Prueba de ello lo revelan una cartera de inversión de US\$ 59.1 mil millones, liderados por el cobre con un 71% de proyectos de inversión (MINEM, 2019) así como el reciente repunte en el ranking del *Fraser Institute* (Ismodes, 2019) ubicando al Perú dentro de los Top Ten de los países más atractivos de la inversión minera.

A pesar de percibirse un escenario positivo para los próximos años, el sector aún presenta una serie de desafíos industriales como son: el insuficiente abastecimiento eléctrico y de hidrocarburos, la falta de infraestructura vial y ferroviaria, la insuficiente oferta portuaria, las considerables restricciones ambientales impuestas a la refinación y la inexistente tecnología para llegar a los nuevos estándares de calidad ambientales exigidos (Álamo et. al, 2017; De la Flor, 2019). Frente a ello, surge el interés de conocer las nuevas propuestas tecnológicas de este sector en materia de innovación operativa, que pretendan mitigar el efecto anterior.

El presente trabajo propone una nueva visión respecto a la aplicación del *Computer Integrated Mining* (CIMG) en lo concerniente al marco estratégico y de mejora continua que requiere el sector minero; y por lo cual propone una actualización al trabajo de investigación desarrollado por Carrasco y González (2015) enfocado en el grado de aplicación de la gestión de la innovación tecnológica en función al uso de TICs y de su nivel de CIMG.

La primera parte de este trabajo presenta el marco teórico base actualizado, para el entendimiento del CIMG y los modelos de madurez. La segunda parte presenta los estudios de caso, iniciando con la metodología empleada y con la intervención de cinco empresas mineras involucradas nuevamente para la presente investigación. Finalmente, la tercera parte presenta el análisis de los resultados y las discusiones correspondientes al objeto de estudio.

Se espera que esta investigación despierte el interés por parte de la comunidad científica, empresarial y académica en ampliar los conocimientos de la aplicación del CIMG en la actividad minera subterránea, así como el explorar otros ámbitos ligados a la innovación operativa y la transformación digital; como son los casos de minería autónoma o minería inteligente (Konyukh, 2007; Hu y Gao, 2019).

## **2. Marco Teórico**

### **2.1. *Computer Integrated Mining* (CIMG)**

El concepto *Computer Integrated Mining* (CIMG) o Minería Integrada por Computadora, proviene de un área de conocimiento denominada *Computer Integrated Manufacturing* (CIM) o Manufactura Integrada por Computadora. En relación al concepto de CIM, este tuvo su primera mención u origen en los años setenta (Harrington, 1979). El CIM, visto como un enfoque, concepto o filosofía, propone la integración y automatización de un sistema productivo, empleando equipamientos, máquinas, hardware y software con la finalidad de desarrollar diversas funciones, tales como: diseño, administración de la ingeniería y administración de la producción; de manera conjunta con filosofías modernas de gestión (Collins; 1980; UNIDO; 1989; Bessant, 1991; Bessant, 1994; Salles Costa y Caulliroux, 1995; Alavudeen y Venkateshwaran, 2008; Carrasco y González, 2015). Técnicamente, el CIM se define como la integración del monitoreo y del control basados en computadora, de todos los aspectos del proceso de manufactura, los cuales que recaen sobre una base de datos en común y se comunican a través de redes de computadora (Bessant, 1991).

Cuando el CIM se aplica sobre los procesos mineros, surge la denominación del CIMG. Dessureault (2003) lo definió como un conjunto de sistemas interconectados que propician la integración de los procesos claves de la minería.

Con la inclusión de algunas mejoras y beneficios propios del CIMG, este concepto complementa al CIM con los siguientes agregados: La reducción de costos y retrasos propios del mantenimiento y el incremento de la seguridad (Dessureault (2003); Carrasco y González 2015). En el primer caso, gracias a las mejoras en la planificación y las comunicaciones; para el segundo, a través de la administración de un patrón de registros de acciones seguras y de desviaciones a los reglamentos de seguridad por parte de los empleados (Carrasco y González 2015). Por otro lado, los componentes tecnológicos principales a nivel de software que conforman el CIM, también son válidos para la minería bajo el concepto del CIMG y son:

- **Tecnologías de asistencia a la administración de la producción:** Estas tecnologías se encargan de gestionar y controlar el conjunto de procesos inherentes a la producción y que requieren ser coordinados y comunicados a través del soporte tecnológico que puedan brindar. Entre las funciones que involucran estas tecnologías, se tiene: Compras de materiales y componentes, planeamiento de producción, documentación y certificación y la gestión del transporte. Por otro lado involucran los siguientes productos tecnológicos: *Computer-Aided Production Management (CAPM)*, *Material Requirements Planning (MRP)*, *Manufacturing Resource Planning (MRP II)* los cuales permiten la integración de diversos flujos de información provenientes de diversas áreas que procuren el abastecimiento necesario de materiales para su producción, así como la planificación de los recursos de equipos, máquinas y mano de obra; en lo referente al aspecto de diseño corresponden al muy difundido *Computer-Aided Design (CAD)*, el *Computer-Aided Design and Manufacturign (CAD/CAM)*, los cuales se concentran en el mapeo de las áreas de manufactura y sus respectivas fases del proceso de producción y el *Computer-Aided Engineering (CAE)* empleado para el análisis de la ingeniería (Bessant, 1991; Alavudeen y Venkateshwaran, 2008; Carrasco y González, 2015).
- **Sistemas Empresariales:** Conocidos también como sistemas integrales de gestión, refieren en particular a los software de gestión de negocios de los tipos *Enterprise Resource Planning (ERP)*, *Supply Chain Management (SCM)* que involucran los procesos de la cadena de abastecimiento en lo que respecta a materiales y equipamiento, *Customer Relationship Management (CRM)* que se concentran en los sistemas de fidelización con los clientes partiendo de las bases de datos y *E-Procurement* que refiere a un conjunto de sistemas de aprovisionamiento electrónico directo y en tiempo real entre compradores y proveedores del sector minero (Koen y Townsend, 2004; Tardelli, 2004; Yang *et al.*, 2007; Vazifeh y Rahimini, 2011; Carrasco y González, 2015).

Actualmente, el concepto de CIMG viene siendo materia de investigación en China, Estados Unidos y Australia. Para el caso particular de China, destaca la intensificación del uso de los sistemas empresariales tipo ERPs (Xu *et al.*, 2010; Carrasco y González, 2015).

## 2.2. Modelos de Madurez

La introducción del término Modelos de Madurez, surgió en el ámbito de las Tecnologías de Información (Wendler, 2012; Loján *et al.*, 2017) específicamente en el campo de la Ingeniería de Software. Con el desarrollo de los negocios, la dependencia tecnológica y el auge de la mejora continua, estos modelos de madurez comienzan a relacionarse con la gestión de la calidad.

Conforme los negocios se desarrollan y evolucionan, estos involucran un proceso de madurez orientado a la consecución de determinados objetivos; tal como se refirió anteriormente: el de la calidad o bien la gestión del conocimiento, la gestión del desarrollo de productos, etc. (Jugend *et al.*, 2012) u otras especializaciones.

Uno de los modelos más difundidos para el establecimiento de pautas para la mejora de los procesos en una organización es el *Capability Maturity Model Integration* (CMMI) o Integración del Modelo de Madurez de Capacidades (Jugend *et al.*, 2012; Rossetti y Arcusin, 2013)

Sobre las prácticas de establecer Modelos de Madurez (considerado un aspecto muy arraigado en la literatura desde comienzos del siglo XXI); Rozenfeld *et al.* (2006) se enfoca en establecer áreas de conocimiento y el grado de contribución de cada una de ellas al proceso de desarrollo de productos (Rossetti y Arcusin, 2013).

Otras prácticas recaen en la definición de *Key Process Areas* (KPA) o Áreas de Proceso Clave. Algunos autores las identifican o relacionan con personas, procesos y tecnología (Durango *et al.*, 2013). Por su parte, Wendler (2012), alude que un modelo de madurez está formado por niveles jerárquicos y tiene como propósito el brindar un marco de referencia de tipo cualitativo respecto a: estado, importancia, potencialidades, requerimientos, y complejidad del objeto analizado.

Investigaciones más recientes construyen los modelos de madurez, a partir de marcos conceptuales como Sector y Capacidad, como por ejemplo el caso de la *Manufactura + Inteligencia* (Hu y Gao, 2019).

No obstante, el fuerte arraigo hacia los aspectos de mejora, buenas prácticas y consolidación de objetivos estratégicos, en donde subyace la mayoría de propuestas de modelos de madurez; existe también un criterio basado en el carácter de gobernanza y de seguimiento normativo que también propone Durango *et al.* (2013) en el que las prácticas principales caracterizan a los tipos ideales de ambientes que deberían esperarse en las organizaciones.

Los criterios de especialidad pueden llegar a ser muy difundidos y aceptados por la comunidad profesional. Por citar un ejemplo, las organizaciones al implementar el *Knowledge Management* (KM) o Gestión del Conocimiento, complementan las descripciones de atributos esenciales que puedan caracterizarlas a un nivel particular (Durango *et al.*, 2013). Durango *et al.* (2013), en su evaluación de la madurez de la gestión del conocimiento; tomó la base de un modelo establecido denominado *General Knowledge Management Maturity Model* (GKMM) propuesto por Pee *et al.* (2006).

Como se logra percibir, la teoría correspondiente a los modelos de madurez viene enfocándose en aspectos de gestión estratégica y proyectos; no obstante, en el ámbito de la ingeniería se tiene también importantes marcos de referencia como son: *Manufacturing Maturity Model* (ISA 95), *Smart Grid Capability Maturity Model*, *Industry 4.0 Readiness* y *Roland Berger Model* (Hu y Gao, 2019).

Habiendo identificado los modelos de madurez, conviene citar los niveles que se definen a partir de ellos, bajo los ámbitos de especialidad y capacidad referidos anteriormente:

- **Según especialidad:** Pee *et al* (2006) para la construcción de su modelo de madurez de gestión del conocimiento definió cinco niveles (1-Inicial, 2-Conciencia, 3-Definido, 4-Gestionado y 5-Optimizado) con respecto a los KPAs de: Personas-Organización, Procesos y Tecnología.
- **Según capacidad:** Hu y Gao (2019) para la construcción de su modelo de madurez de Manufactura Inteligente, definió cinco niveles (1-Nivel de Planificación, 2-Nivel de Especificación, 3-Nivel de Integración, 4-Nivel de Optimización y 5- Nivel Destacado) con respecto a las Capacidades de: Servicio, Diseño, Producción, Logística y Ventas.

Finalmente una aproximación en cuanto modelo de madurez, más acorde a nuestros casos, y que enlaza a la mayoría de ámbitos mencionados anteriormente, corresponde al definido por el Estándar ISA-95 cuya referencia en *Manufacturing Maturity Model*, permite una distinción entre agentes de operaciones mineras y proveedores, ilustra el ciclo de vida del uso eficiente de las aplicaciones tecnológicas, aporta simplicidad y confiabilidad al proceso de reducción de costos, aporta una visión integrada de las soluciones tecnológicas y porque finalmente aporta a la reducción de costos en cada fase de operación basados en buenas prácticas y la mejora continua (Guifford, 2007; Carrasco y González, 2015).

No obstante, y debido a las inexistentes referencias sobre implementaciones de modelos especializados en el CIMG, se desarrollará una versión orientada a niveles de madurez según capacidades y que tienen su origen en el *Capability Maturity Model* (CMM) o Modelo de Madurez de Capacidades.

### 3. Metodología

#### 3.1. Enfoque Aplicado

La metodología empleada para el desarrollo del presente trabajo corresponde a un estudio de casos múltiple con una única unidad de análisis (Yin, 2009). Por otro lado, el presente trabajo corresponde a una investigación descriptiva de enfoque cualitativo (Hernández *et al.*, 2010) y está centrada en la definición de un modelo de madurez de CIMG en el sector de la gran minería a tajo abierto en el Perú. En este sentido, la investigación comprende el estudio de casos actualizados de las siguientes empresas: Compañía Minera Antamina, Sociedad Minera Cerro Verde, Southern Perú Copper Corporation, Volcán Compañía Minera y Compañía Minera Buenaventura (Carrasco y González, 2015).

Con respecto al diseño de investigación, la realización de un estudio de casos múltiple considera los componentes propuestos por Yin (2009). En primer lugar, la pregunta de estudio que orienta la investigación es la siguiente:

- ¿En qué nivel de madurez del uso de *Computer Integrated Mining* (CIMG) se encuentran las grandes unidades mineras de tajo abierto en el Perú?

De acuerdo a esta pregunta de estudio, la proposición de la investigación corresponde a las siguiente:

- El nivel de madurez en cuanto al uso de *Computer Integrated Mining* (CIMG) es heterogéneo, en las grandes unidades mineras de tajo abierto.

La unidad de análisis de la investigación es el modelo de madurez del *Computer Integrated Mining* (CIMG) aplicado en la gran minería a tajo abierto del Perú.

El presente estudio se ha realizado empleando tres estrategias analíticas basadas en: proposiciones teóricas, descripción de casos y uso de información cualitativa; incluidos anteriormente en el estudio de Carrasco y González (2015). La descripción de los casos utilizando información cualitativa permitió la aproximación a la pregunta de investigación y a la proposición. De manera específica, la técnica analítica que se empleó fue también la síntesis cruzada de casos.

Con respecto a la información cualitativa, ésta se obtuvo de Memorias Anuales institucionales, Resúmenes de Sostenibilidad; todas ellas provenientes de agentes bursátiles y publicaciones digitales actualizadas. Por otro lado, se realizaron cortas entrevistas a profesionales provenientes de las siguientes gerencias: Excelencia Operacional, Tecnologías de Información y Comunicación y Operaciones.

### **3.2. Niveles de Madurez**

Luego de la revisión de la literatura, se tomará como criterio para la definición de niveles de madurez, el referido por Hu y Gao (2019) debido a su arraigo técnico, estratégico y operacional; apropiada para el CIMG.

Los niveles de madurez en CIMG, corresponden a:

- Nivel 1 - Planificado
- Nivel 2 - Especificado
- Nivel 3 - Integrado
- Nivel 4 - Optimizado
- Nivel 5 - Destacado

#### **4. Desarrollo del Estudio de Casos**

El estudio involucró a cinco empresas mineras, las cuales fueron seleccionadas dada su representatividad en el Perú, bajo la modalidad de operación a tajo abierto. A continuación, se realiza una descripción de cada una de estas empresas y el nivel de madurez de CIMG identificado.

##### **4.1. Compañía Minera Antamina (Antamina)**

Ubicada en el distrito de San Marcos, provincia de Huari en la Región Ancash; a 4300 msnm. Esta mina produce principalmente concentrados de cobre, zinc, bismuto y molibdeno; de manera secundaria: plata y plomo. Esta empresa inicia operaciones en el país en el año 2001. Su accionariado lo componen empresas mineras transnacionales como BHP Biliton y Glencore Xtrata, de Australia y Suiza respectivamente (ANTAMINA, 2017).

Respecto al resultado de las entrevistas, en lo referente al Nivel de Madurez en CIMG, la empresa reveló que ha implementado Centros de Control en sus plantas. Usan software minero de monitoreo en tiempo real y sistemas de tipo ERP, para el control integrado de sus procesos, así como *drones* para operaciones de mapeo geológico en zonas inaccesibles.

##### **4.2. Sociedad Minera Cerro Verde (Cerro Verde)**

Se encuentra ubicada en el distrito de Uchumayo, provincia de Arequipa en la Región Arequipa; a 2700 msnm. La mina produce concentrados de cobre y molibdeno, operados por una concentradora de sulfuros primarios. Esta empresa inicia operaciones en el año 1993 y ha ampliado su producción gracias a una nueva planta concentradora (BVL, 2018 a).

Respecto al resultado de las entrevistas, en lo referente al Nivel de Madurez en CIMG, la empresa reveló que cuenta con muchos procesos automatizados, se monitorean los equipos en cuanto estado de operación (vida útil) y productividad. Por otro lado, disponen de repositorios de información en nube y cuentan con un sistema integrado de control de las operaciones.

##### **4.3. Southern Perú Copper Corporation (Southern Perú)**

Southern Perú Cooper, está conformada por dos operaciones mineras Cuajone (ubicada en el departamento de Moquegua) y Toquepala (ubicado en Tacna), planta de fundición y refinación (ubicado en Ilo, departamento de Moquegua). Es principal productora y refinadora de metales como: cobre, molibdeno, zinc y plata; e inició operaciones en el año 1954. Es subsidiaria del Southern Cooper Corporation, del Grupo México (SOUTHERN PERU, 2017).

Respecto al resultado de las entrevistas, en lo referente al Nivel de Madurez en CIMG, la empresa utiliza el sistema *Ventyx Ellipse™*, que permite el control a distancia de las palas, camiones, así como la gestión del mantenimiento para asegurar la máxima disponibilidad de los equipos; dicha información está integrada y cuantificada dentro de los paquetes de software en tiempo real y con el manejo de una base de datos centralizada.



#### 4.4. Volcan Compañía Minera (Volcan)

Ubicada en la ciudad de Ticlio; poseedora de seis plantas concentradoras, en Cerro de Pasco, Yauli y Chungar. Produce concentrados de los siguientes minerales: Zinc, Plata y Plomo. Inició operaciones en el año 1943. La naturaleza accionarial de Minera Volcan es diversificada; integrada por muchas empresas con acciones del tipo A (con derecho a voto) como B (derecho a distribución preferencial) (Volcan, 2018).

Respecto al resultado de las entrevistas, en lo referente al Nivel de Madurez en CIMG, la empresa continúa trabajando en la integración total de sus operaciones, tienen centros de control y monitoreo; dotados de software especializado para medición y el análisis de datos.

#### 4.5. Compañía Minera Buenaventura (Buenaventura)

Empresa minera que viene operando en distintas regiones del país; ya sea en exploración, explotación y tratamiento de los minerales referidos. La compañía es productora de concentrados de oro, plata y zinc; e inició operaciones en el año 1953. La estructura de acciones de Buenaventura, involucra tanto a los agentes comunes como de inversión (BVL, 2018 b).

Respecto al resultado de las entrevistas, en lo referente al Nivel de Madurez en CIMG, la empresa reveló que cuenta con tecnología necesaria para el control de los procesos mineros, asimismo, maneja información en tiempo real referente a procesos productivos y de transporte de concentrados. Vienen incursionando en proyectos de análisis de información usando productos de inteligencia de negocios como *QlikSense*<sup>TM</sup>.

### 5. Resultados y Discusión

Respecto al Nivel de Madurez de CIMG, se reafirma que existe un desarrollo heterogéneo en las compañías mineras, involucrando a procesos de monitoreo, control, la obtención de datos y análisis de la información. Empresas como Southern Perú y Antamina, han incorporado software de control integral de la producción, que le ha permitido alcanzar un importante nivel de madurez de CIMG.

Tabla 1. Nivel de Madurez en CIMG

Empresa	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5
	Planificado	Especificado	Integrado	Optimizado	Destacado
<b>Antamina</b>					X
<b>Cerro Verde</b>				X	
<b>Southern Perú</b>					X
<b>Volcan</b>			X		
<b>Buenaventura</b>				X	

Fuente: Elaboración propia.

Como revela la *Tabla 1*, respecto al nivel de madurez de CIMG, se viene apuntando a consolidar una integración y automatización de los procesos, no obstante, el hecho de que una empresa (en Nivel 3) se encuentre implementando dicho proyecto a razón de los nuevos requerimientos del sector. Por otro lado, son dos empresas las que en el Nivel 4, vienen trabajando en asegurar el flujo de trabajo y el control de la producción, a través de herramientas de software de control de procesos de producción. Finalmente, son dos empresas las que consolidan un Nivel 5, dado que cuentan con procesos de producción debidamente planificados y controlados en todos los niveles, desde insumo hasta el producto final.

La *Tabla 2*, resume el arreglo institucional, los instrumentos metodológicos y las líneas de acción propuestas como parte de las preguntas de estudio.

*Tabla 2. Cuadro Resumen en Referencia Cruzada*

<b>Empresa</b>	<b>Nivel de Madurez CIMG</b>	<b>Descripción</b>
<b>Antamina</b>	Nivel 5 - Destacado	Procesos planificados y controlados en todos los niveles. Administración integral de la producción a través de ERP.
<b>Cerro Verde</b>	Nivel 4 - Optimizado	Aseguramiento y control de la producción a través de monitoreo de producción y centros de control a distancia.
<b>Southern Perú</b>	Nivel 5 - Destacado	Procesos planificados y controlados en todos los niveles. Administración integral de la producción a través de ERP.
<b>Volcan</b>	Nivel 3 -Integrado	Desarrollo de requerimientos de automatización y mejora incremental de los sistemas de control.
<b>Buenaventura</b>	Nivel 4 - Optimizado	Aseguramiento y control de la producción a través de monitoreo de producción y centros de control a distancia.

**Fuente:** Elaboración propia.

Se puede afirmar que respecto al nivel de madurez en cuanto al uso de *Computer Integrated Mining* (CIMG) es heterogéneo en las grandes unidades mineras de tajo abierto, Antamina posee un Nivel 5 de madurez dado el involucramiento de todos los procesos productivos. En Buenaventura con su Nivel 4 de madurez, refleja involucramiento de tecnologías para medición y control de la producción. Cerro Verde, evidencia un Nivel 4 de madurez por cuanto desarrolla rutinas de seguimiento de la producción en diversas áreas. En Southern Perú, se evidencia un Nivel 5 de madurez, en donde destaca el control, planificación e integración de los procesos productivos en sus distintas fases. Finalmente, en Volcan, con su Nivel 3 de madurez, evidencia el camino hacia la plena automatización y planificación de sus labores.

Es evidente que la proposición de la investigación se cumple, demostrándose la heterogeneidad de los niveles de madurez de CIMG. Esto toma un fuerte respaldo por la tendencia hacia la consolidación de sistemas de gestión integrada de procesos, y que se dan en el marco de las implementaciones tecnológicas y las expansiones industriales de la mayoría de las empresas del caso.

## **6. Conclusiones**

El presente estudio ha permitido orientar las implementaciones y mejoras tecnológicas del sector minero de tajo abierto, en un referencial de Modelo de Madurez, cuyos antecedentes refieren un diseño original y muy difundido basado en Capacidades; que fue idóneo para integrar el presente estudio.

Por referir un aspecto tecnológico, llama fuertemente la atención el arraigo de los sistemas de ERP, usados para integrar y administrar las funciones de negocios al interior de una organización, incluyendo la planificación y control de las operaciones, el mantenimiento, la gestión comercial, financiera y contable, entre otras. Estos sistemas son los más empleados por las grandes unidades mineras, con prestancia corporativa. Cabe resaltar que, gracias a la tecnología de software incorporado por las multinacionales, como el caso del *Ventyx Ellipse*; es que los procesos de control de producción y los procesos de control de negocio han sido centralizados bajo una misma plataforma.

Por el lado del CIMG, este involucra a un conjunto de desarrollos tecnológicos dentro del contexto de la producción minera; con miras a: llevar un control de los procesos, planificar las tareas, asignar recursos e integrar a otras áreas complementarias; asegurando los objetivos primordiales de la organización.

El nivel de madurez en cuanto CIMG, si bien es heterogéneo en el sector, es claramente mayor en las empresas pertenecientes a grandes corporaciones multinacionales; no siendo el mismo resultado para las empresas mineras nacionales, que están en su mayoría terminando de automatizar sus instalaciones y formulando proyectos para consolidar la integración de sus procesos; razón por la que vienen destinando buenas partes de sus inversiones en dichas tareas.

## 7. Referencias

- Álamo, A., Gardinalli, A., Machado, I., Castro, M. y Cárdenas, I. (2017). *Planeamiento Estratégico de la Industrialización del Concentrado de Cobre*. (Tesis de Maestría) Pontificia Universidad Católica del Perú – CENTRUM, Lima, Perú.
- Alavudeen, A. y Venkateshwaran, N. (2008). *Computer Integrated Manufacturing*. Prentice Hall, Englewood Cliffs
- ANTAMINA (2017). *Informe de Sostenibilidad*. Compañía Minera Antamina S.A. Recuperado de: <http://www.antamina.com/wp-content/uploads/2018/10/reporte-de-sostenibilidad-2017.pdf>
- Bessant, J. (1991). *Managing Advanced Manufacturing Technology: The Challenge of the Fifth Wave*. Oxford: NCC Blackwell.
- Bessant, J. (1994). Towards Total Integrated Manufacturing. *International Journal of Production Economics*, 34. University of Brighton: Centre for Business Research
- Bueno, E. y Morcillo, P. (1997). *Dirección Estratégica de la Tecnología e Innovación. Un enfoque de competencias*. Madrid: Editorial Civitas.
- BVL a. (2018). *Información Corporativa. Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A.* Bolsa de Valores de Lima. Disponible en: <https://www.bvl.com.pe/hhii/CM0006/20190225225401/MEMORIA32ANUAL322018.PDF>
- BVL b. (2018). *Información Corporativa. Compañía de Minas Buenaventura*. Bolsa de Valores de Lima. Recuperado de: <https://www.bvl.com.pe/eff/B20003/20190325172803/MEB200032018AIA01.PDF>
- Cabero, J. (1998). *Impacto de las nuevas tecnologías de la información y comunicación en las organizaciones educativas*. Granada: Grupo Editorial Universitario.
- Carrasco, Y. y González, D. (2015). *Gestión de la Innovación y el Desarrollo Tecnológico en la Gran Minería a Tajo Abierto del Perú: Estudio de Casos*. Ponencia presentada en el XVI Congreso Latino-Iberoamericano de Gestión Tecnológica. Asociación Latino-Iberoamericana de Gestión Tecnológica (ALTEC). Porto Alegre, Brasil.
- CMC (2014). *CMC Limited. Integrated Mining Command & Control Centre*. Recuperado de: [http://www.cmcltd.com/solutions/mining/integrate\\_d-mining-command-control-centre](http://www.cmcltd.com/solutions/mining/integrate_d-mining-command-control-centre)
- Collins, J. (1980). *Integrated Manufacturing, the state of the art*. BOC Ltd. Industrial Engineering Department.UK.
- De la Flor, P. (2019). *Perspectivas y Desafíos de la Minería en el Perú*. Seminario Minería y Energía. COMEX-PERÚ. Febrero 2019.
- Dessureault, S. (2003). *Justification techniques for computer integrated mining*. South Africa: Institute of Mining and Metallurgy
- Durango, C., Quintero, M. y Ruiz, C. (2013). Metodología para evaluar la madurez de la gestión del conocimiento en algunas grandes empresas colombianas. *Tecnura*. Vol. 19. No 43. Pp 20-36.
- Estrada, S. y Sabando, D. (2001). *Gestión de recursos tecnológicos*. Madrid: Universidad Autónoma de Madrid, Economía y Gestión de la Innovación y Política Tecnológica.
- Guifford, C. (2007). *The Hitchhiker's Guide to Operations Management: ISA-95 Best Practices*. Book 1.0 ISA. USA: Instrumentation, Systems and Automation Society.
- Harrington, J. (1979). *Computer Integrated Manufacturing*. USA: Industrial Press

- Hernandez, R., Fernandez, C. y Baptista, M. (2010). *Metodología de la Investigación*. Quinta Edición. McGraw-Hill.
- Hu, J. y Gao, S. (2019). *Research and Application of Capability Maturity Model for Chinese Intelligent Manufacturing*. 11th CIRP Conference on Industrial Product-Service Systems. CIRP 83 (2019) 794-799.
- Ismodes, F. (2019). *Minería del Perú*. Conferencia llevada a cabo en el Prospectors & Developers Association of Canada. PDCA. Toronto, Canadá.
- Jugend, D., Da Silva, S., Toledo, J. y Onoyama, M. (2010). Evaluation of maturity levels in the management of product development: case studies in the capital goods industry. *Product: Management & Development*, 8 (2), 183-192.
- Koen, H. y Townsend, A. (2004). *Quadrem: E-Procurement for the Mining Industry*. Wits Business School: London: University of the Witwatersrand
- Konyukh, W. (2009). *Strategy of automation for underground mining*. Ponencia presentada en: International Forum on Strategic Technology. IEEE Xplore. 2009. Ho Chi Minh, Vietnam.
- Lojan, E.; Navarro, J. y Cagua, C. (2017). *Assessment model business continuity management based on ISO 22301: 2012*. Revista Espacios. Vol. 38. N° 54.
- MINEM (2019). *Perspectivas del Sector Minero Energético*. Seminario Minería y Energía – COMEX PERÚ. Lima. Presentación recuperada de: [https://www.comexperu.org.pe/upload/seminars/foro/seminario\\_21022019/Presentaci%C3%B3n%20del%20Sr.%20Francisco%20%20C3%8Dsmodes.pdf](https://www.comexperu.org.pe/upload/seminars/foro/seminario_21022019/Presentaci%C3%B3n%20del%20Sr.%20Francisco%20%20C3%8Dsmodes.pdf)
- Pee, L., Teah, H. y Kankanhalli, A. (2006). *Development of a General Knowledge Management Maturity Model*. Ponencia presentada en *Korean Knowledge Management Society Conference* (pp. 17-18), Seúl, Corea del Sur.
- Rozenfeld, H., Forcellini, F., Amaral, D., Toledo, J., Da Silva, S. y Alliprandini, D. (2006). *Gestão de Desenvolvimento de Produtos: Uma Referencia para a Melhoria do Processo*, Editora Saraiva, San Pablo, Brasil.
- Rosseti, G. y Arcusin, L. (2013). *Diagnóstico del Nivel de Madurez de la Gestión del Proceso de Desarrollo de Productos en Empresas Fabricantes de Fármacos*. Universidad Nacional del Litoral Santiago del Estero, Departamento de Ingeniería Industrial, Santa Fe - Argentina
- Salles Costa, L.S. y Caulliraux, H.M. (1995). *Manufatura Integrada por Computador*. Rio de Janeiro: Campus.
- Scheer, A. (1993). *CIM: Evolviendo para a fábrica do futuro*. Rio de Janeiro: Qualitymark. Recife.
- SOUTHERN PERÚ (2017). *Crecimiento Informe Anual*. Southern Cooper Corporation. Recuperado de: <http://www.southernperu.com/esp/reinv/2017/AnnualReport/m2017esp.pdf>
- Tardelli, A. (2004). *ERP Systems in Mining Industry: Studying the Software Functionality and the Value Chain*. México: World Conference
- Tidd, J. y Bessant, J. (2009). *Managing Innovation: Integrating Technological, Market and Organizational Change*. Cuarta Edición. Willey
- UNIDO (1989). *Computer Integrated Manufacturing: Perspectives for International Economic Development and Competitiveness*. Vienna: UNIDO.
- Vazifeh, Q. y Ramini, G. (2011). Design a conceptual ERP Model for Small and Medium Enterprises of Iran. *IJCRB* N°5 Irán. Recuperado de: <http://journal-archievs8.webs.com/850-860.pdf>

VOLCAN (2018). *Memoria Anual 2017 Volcan Compañía Minera S.A.A* Recuperado de: <https://www.volcan.com.pe/wp-content/uploads/2018/08/Memoria-Anual-Volcan-2017-1.pdf?x58639>

Wendler, R. (2012). The maturity of maturity model research: A systematic mapping study. *Information and Software Technology ELSEVIER*, 1317–1339.

Xu, Y., Chen, W. y Jin, B. (2007). Research on Web and Pro/E-based Part Design Reuse System. *Computer Integrated Manufacturing System*. N°13. China

Yang, S., Han, J. y Liu, R. (2007). Enterprise Resource Planning. *The International Journal of Management Science*. N° 32

Yin, R. (2009). *Case Study Research*. Fourth Edition. SAGE.