



Universidad de Santiago de Chile
Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Informática



Estudio ~~en-de~~ la automatización de procesos, respecto a la producción y contaminación de la actividad minera

Se entiende como que hay automatización de procesos de contaminación

“Estudio de la automatización de los procesos de producción en la actividad minera y sus efectos contaminantes”

Alumno: Ignacio Villarroel E.

Daniel Calderón R.

Asignatura: Ingeniería de Sistemas

Sección: F – 6

Profesor: José Muñoz G.

Fecha de entrega: 28/05/2021

1. INTRODUCCIÓN

La minería constituye el proceso productivo del cual se extrae diversos objetos de valor, no sólo para el rubro, sino que también para diversas áreas de comercio debido a las múltiples utilidades que se les pueda dar. Estos objetos de valor son denominados minerales, el cual consiste en un compuesto químico sólido y homogéneo, de origen natural-(~~Fernández, s/f~~) (~~Fernández~~), que, debido a estas mismas características químicas, es posible realizar diferentes actividades, como puede ser la construcción de una red de cableado basado en cobre.

Por otra parte, la minería de rajo abierto es una de las actividades más contaminantes y a su vez peligrosas a nivel mundial (W.P., 2019), ya que, para asentar diferentes minas en las cuales se realizarán los procesos de extracción y explotación de los minerales de la zona, se debe de realizar una excavación profunda, transformando el terreno en un agujero gigantesco, el cual tiene que ser capaz de ingresar maquinarias pesadas para los procesos antes descritos, siendo, también, sólo uno de los problemas que afectan el medio ambiente; pese a esto, los réditos económicos que se llegan a obtener, hacen que esta actividad económica sea atrayente para los inversionistas.

El mineral extraído sufre una serie de procesos que diferencian los distintos materiales que posee el producto original, es decir, el cobre no viene en estado puro, sino que debe pasar por distintos procesos químicos que lo lleven a dicho estado. Estos procesos son afectados por una serie de variables que logran la efectividad de la empresa, por ejemplo, grandes plantas de concentración, donde se logra obtener el producto final para ser exportado, también generan desechos tóxicos, los cuales afectan, en gran medida, al ecosistema. Es en este punto donde la empresa debe de invertir las ganancias producidas en innovación y automatización de los procesos de transformación del mineral (Cochilco, 2015), lo que permite reducir la contaminación y aumentar la eficiencia de estos procesos, ~~dando por~~ teniendo como consecuencia, una mejora en la calidad de vida de las personas aledañas a las zonas donde se practican estas actividades.

2. OBJETIVOS

Objetivo General:

Comprender los diversos factores o variables que influyen en el proceso productivo de la extracción y síntesis de minerales, reconociendo y comprendiendo la problemática de una forma no reduccionista (*) e ¿implementando una dinámica de sistemas? [¿qué significa esto? ¿empleando la metodología de la DS?] ~~que fomenten~~ vinculadas a una interpretación crítica de la situación.

(*) a través de un enfoque sistémico (pensamiento sistémico + pensamiento crítico)

Nota importante: Teóricamente este estudio no parte de cero, sino que viene a complementar estudios previos que han permitido (según sus palabras) “Comprender los diversos factores o variables que influyen en el proceso productivo de la extracción y síntesis de minerales”.

En general, la aplicación de una Metodología particular no es el objetivo general del trabajo del ingeniero-investigador; la aplicación de la metodología es un objetivo pedagógico (de la asignatura). El objetivo de la investigación, en su caso (después de ver el trabajo globalmente), debiera enfocarse hacia la comprensión de los factores que determinan la calidad de vida de los trabajadores de los distintos sectores económicos relacionados con la minería; destacando el tema de la contaminación. Dentro de los objetivos específicos puede señalar que se usará la DS.

Objetivos Específicos:

- ~~Generar de una prosa~~ Recopilar información que contenga la problematización generada a partir de las diferentes situaciones que se dan en los sectores económicos de la minería, tal que permita. ~~Además,~~ reconocer las distintas variables que ~~logran afectar se relacionan con~~ el proceso productivo.
- Realizar un diagrama de influencias que indique las relaciones entre las diferentes variables obtenidas de la prosa, identificando ciclos de refuerzo y de regulación.
- Realizar un diagrama de Forrester a partir del diagrama de influencias, permitiendo ¿reforzar? (identificar el tipo de participación -flujo, nivel, auxiliar, etc.- de) las variables mencionadas.
- Realizar un modelo matemático que permita relacionar para las variables, de una manera lógico-matemática, los diferentes comportamientos que ~~refuerzan-explican~~ el flujo entre éstas.
- Corroborar la dinámica de los sistemas, por medio del ~~gracias al~~ programa Vensim, obteniendo una simulación que permita acercar al lector a la problematización, creando situaciones reales y cómo pueden variar con el tiempo.

3. PROSA:

La minería es la actividad económica que mayor aporte ha entregado al país, específicamente, gracias a la gran cantidad de mineral de cobre que se encuentran en diversos yacimientos, que son extraídos mediante la construcción de minas para luego ser transportadas y procesadas en plantas de concentración, para finalmente ser exportadas. Esta actividad, a pesar de entregar tantos beneficios para el país, también es considerada uno de los trabajos más peligrosos, principalmente, por los grandes efectos negativos generados en el medio ambiente, y también por la gran cifra de muertes por accidentes laborales que se han registrado hasta la fecha (Sernageomin, 2015), haciendo de contrapeso en la calidad de vida de las personas que viven cerca de estos lugares, es por esto que la innovación y la automatización toman relevancia, permitiendo tanto disminuir los efectos contaminantes como la reducción en accidentes laborales (CDT, 2014).

4. SECTOR PRIMARIO

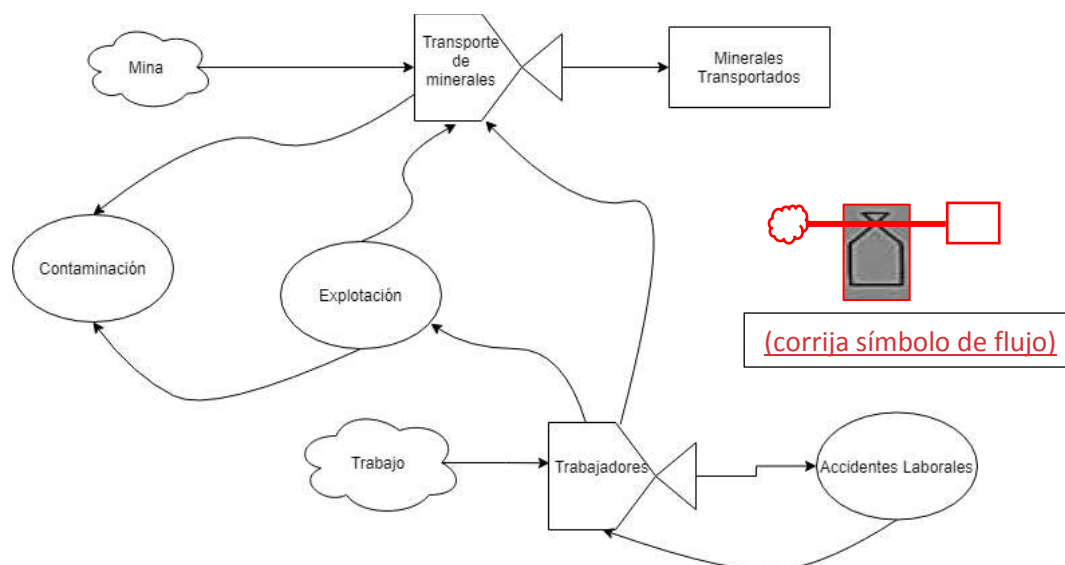


Figura 1. Diagrama de Forrester del sector primario de la minería

El diagrama intenta representar el flujo correspondiente a la cadena productiva de la minería, ~~respectivamente del en el~~ sector primario, ~~donde intenta para~~ explicar las diferentes variables que afectan a los procesos de explotación y transporte de minerales. En este sentido, también

se tiene en cuenta la situación de los diversos trabajadores de la empresa minera, donde se ven perjudicados por accidentes laborales que ocurren en este entorno, los que pueden llegar a ser fatales (Minero, 2021), es así, como los trabajadores pueden incurrir negativamente en los procesos, donde pueden llegar a ser cerrados por malas prácticas y mantenciones, conllevando a una disminución de los minerales que se transportarán hacia las plantas concentradoras. ~~Tener~~ Téngase en cuenta, que la contaminación es un factor ~~a tener en cuenta importante~~ debido a que puede llegar a provocar cambios irreparables en el entorno y en la vida de los pobladores circundantes a la zona de trabajo, como puede ser el caso de los relaves que generan grandes empresas. (Enríquez B. & Sánchez C., 1996)

Las principales variables aportadas en este sector son la Explotación (¿Producción?) y el Transporte, ~~sólo~~ que en este caso se considera como un flujo, además de los Accidentes Laborales. También ~~se aporta~~ aparece como relevante la variable (¿número de ...?) Trabajadores, la cual afecta directamente a las antes mencionadas y a diferentes procesos posteriores de la cadena productiva.

Algunas observaciones preliminares:

Intento reproducir la lógica de las influencias mutuas (imaginando el diagrama de influencias), pero el diagrama presentado es confuso:

- Parece necesario mostrar el diagrama de influencias para entender si es influencia en el mismo sentido o inversa.
- La parte del modelo que se refiere a trabajadores, se extendería mejor si la nube representa mano de obra (trabajadores) y lo que se acumula es la mano de obra disponible (trabajadores disponibles), la cual depende de los contratados (variable a agregar) menos los ausentes por accidentes laborales
- El nivel debiera ser los materiales acumulados (que es controlado por el flujo transportado); por ejemplo, en las plantas concentradoras.
- En este caso, parece más clara una variable producción que la variable explotación.

5. SECTOR SECUNDARIO

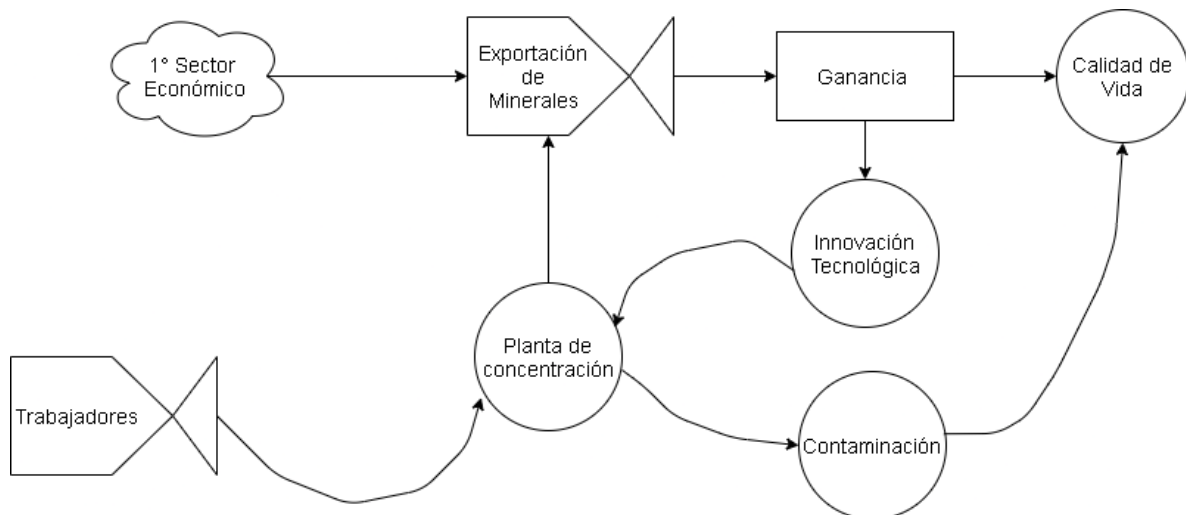


Figura 2. Diagrama de Forrester del sector secundario de la minería (corregir símbolo de flujo)

Hay un error conceptual en el diagrama. La nube representa una fuente (inagotable) de aquello que se acumula; si la Ganancia se expresa en dinero, entonces la nube es una fuente de dinero, cuyo flujo es controlado (por medio de la variable exportaciones). Entonces, el aporte (la variable) del sector económico 1 será el material disponible (acumulado) y será una variable (que aquí es llamada Planta de Concentración -mal nombre, pues no se puede pensar en términos de crecimiento o disminución) que influye sobre el flujo de exportaciones

El diagrama está incompleto: Las exportaciones también dependen de condiciones de mercado (oferta-demanda)

Aquí la variable trabajadores, si es la misma del diagrama anterior, será representada como una variable auxiliar que viene del exterior y no como un flujo. Después, al unir ambos diagramas se ve la procedencia real de ésta.

El material proveniente del primer sector se enfoca en totalidad en la planta concentradora, la cual funciona como creadora de empleos y a su vez como agente contaminante producto de los gases generados. Gracias a la incorporación de empleados, el mineral puede ser purificado separando la escoria (material sin valor económico) de lo que sí es rentable, llegando a un 99,9% de pureza en algunos elementos como el cobre (Zaldívar, s.f.). Esto es vendido y exportado a diversos países, permitiendo a la empresa obtener ganancias, donde un porcentaje de ellas se dedica en la inversión de mejor tecnología con la intención de reducir los gases contaminantes emitidos (Codelco, 2011), de esa forma baja la contaminación y aumenta la calidad de vida.

La principal variable (*) aportada en este sector corresponde a la planta de concentración puesto que todo pasa por esta variable, por lo que representa un factor vital para el procesamiento del mineral, mientras que las variables aportadas de manera secundaria son:

- Contaminación
- Ganancia
- Innovación Tecnológica
- Calidad de Vida

(*) Éste también es un error de concepto. Si lo que se logra como resultado es la Ganancia obtenida, ésta será la variable de interés. No es aplicable el concepto de variable secundaria dado que en el diagrama de flujo-nivel ambos tipos (flujos y niveles) son necesarios; y estos se explican (relacionan) a través de variables auxiliares.

6. DIAGRAMA DE INFLUENCIAS del sistema global

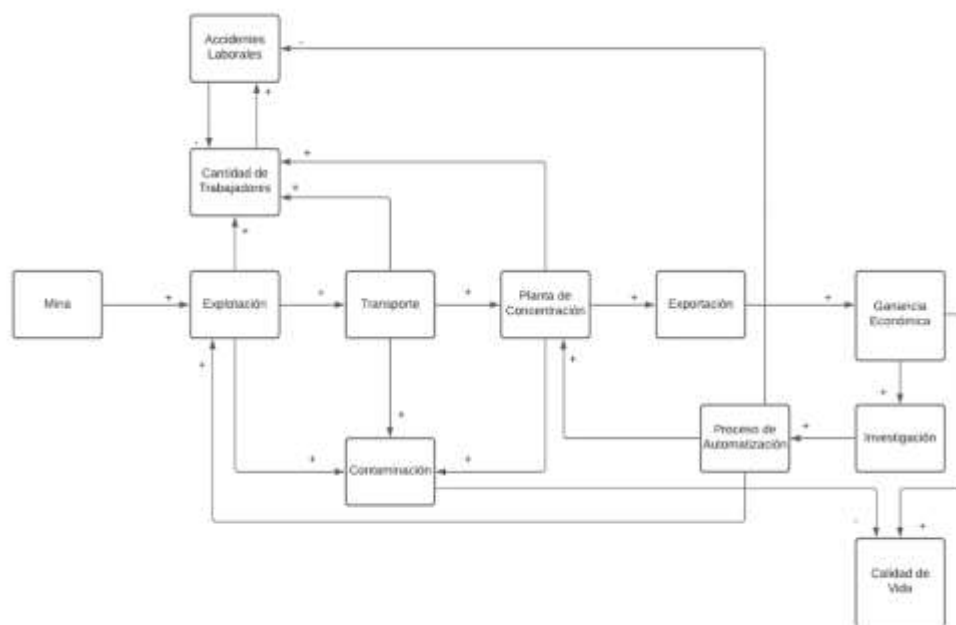


Figura 3. Diagrama de influencias a partir de la cadena productiva minera

Es necesario identificar los ciclos de refuerzo y de regulación

En el-este diagrama de influencias, planteado a partir de vincular los diversos estudios individuales, se observa la cadena de producción que surge de los diferentes sectores económicos de la minería, enfocándose, principalmente, en los procesos que conllevan a la extracción y procesamiento de los minerales. De esta forma, se aprecia las distintas variables que se extraen a partir de los modelos presentados por cada sector económico, y de las cuales, también se observan algunas que llegan a repetirse (*), notando que dichas acciones o entidades puedan reflejar cambios en más de algún sector económico. En este sentido, la cadena de producción pasa desde la explotación, pasando por el procesamiento de las plantas de concentración y terminando en las ganancias que se obtienen por la exportación de este esté bien, pero también hay que pensar de que no todo resultará como debe de ser, tal como

sucede en el caso de que se generen pérdidas. Los accidentes laborales o la propia contaminación generan grandes problemas para el proceso productivo, en el que, si llegasen a ser muy repetitivas, pueden llegar al caso donde la mina se cierre, y por tanto las pérdidas sean mucho mayores. De esta forma, gracias a las ganancias económicas que se generan, las empresas mineras deciden invertir lo ganado en diversas investigaciones que fomenten la automatización de los diferentes procesos de la minería, principalmente, permitiendo, por ejemplo, que las cifras de accidentes laborales o la contaminación se vea disminuida gracias a las mejoras en el proceso de explotación y en las plantas de concentración, conllevando a ganancias aún mayores de las obtenidas. Finalmente, también hay que considerar cómo estos procesos llegan a impactar en la sociedad, ya sea de forma positiva o negativa, teniendo en cuenta que la contaminación puede llegar a empeorar la calidad de vida de las personas, pero también teniendo en cuenta que estas mismas ganancias la aumentan, por tanto, esta calidad de vida se encuentra en un constante balance por los diversos factores que la disminuyen o la aumenten, teniendo como objetivo, éste último, logrando, de esta forma, un impacto social positivo.

(*) Esta afirmación debería tomarse con cautela; a veces puede tratarse de una ilusión, producto de una elección inadecuada del nombre, el que se repiten las variables. Por ejemplo, en el primer caso se trata de “Trabajadores (del sector primario: mineros, por ejemplo)” y en el segundo de “Trabajadores (productores)”, quienes difieren de los anteriores por su especialización. Por ejemplo, en el sector primario se acumulan Materiales (materias primas, minerales); en el sector secundario se acumulan Materiales elaborados (Productos).

7. DIAGRAMA DE FORRESTER

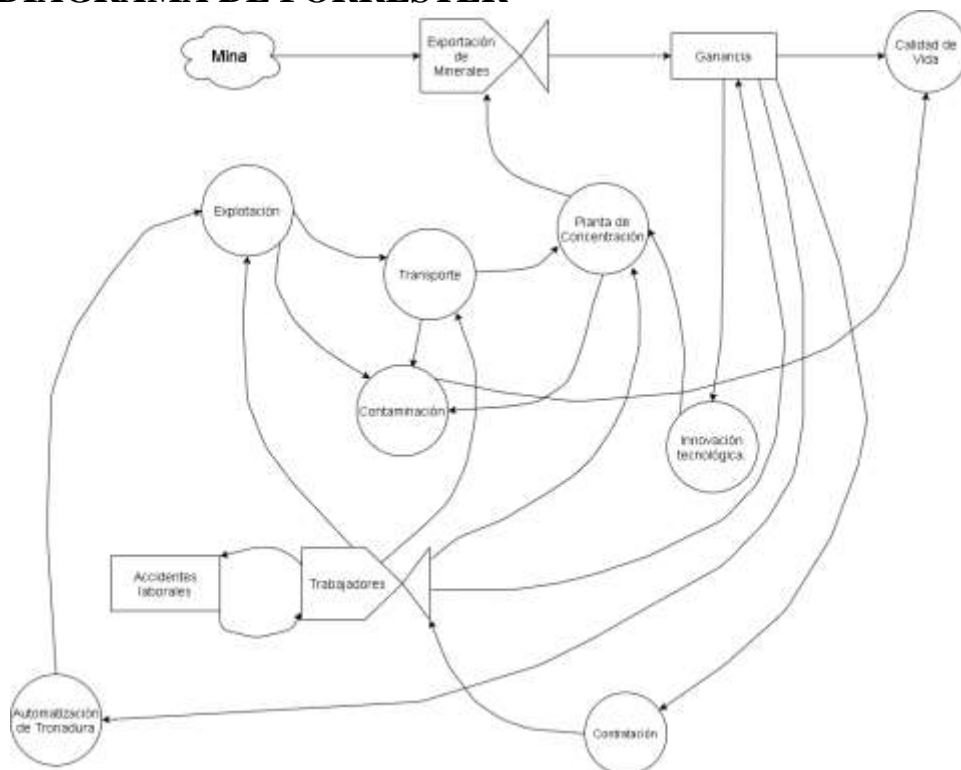


Figura 4. Diagrama de Forrester a partir de la cadena productiva minera
(corregir símbolo flujos; falta la nube asociada al nivel accidentes laborales)

Se nota que la fuente corresponde a la mina, que es la estructura fundamental para la extracción inicial, que permite el flujo para la exportación del material. Este se ve afectado de manera directa por tres procesos, en primer lugar, se contempla la explotación correspondiente al primer sector económico minero, basado en la extracción del material fuera de la mina, posteriormente el mineral triturado es transportado a una planta de concentración correspondiente al segundo sector, este se encargará vía procesos químicos de separar el elemento económicamente rentable del resto de minerales, llegando a un 99,9% de pureza (Zaldívar, s.f.). Las empresas mineras encargadas se retroalimentan con trabajadores para cubrir todas las áreas, estos están expuestos a diferentes accidentes en cada rubro, lo que afectará la cantidad de trabajadores existentes en las empresas. Por otro lado los procesos relacionados a la exportación mencionados anteriormente son fuentes contaminantes producto de las acciones realizadas para la obtención del recurso, esto afecta la calidad de vida de las zonas aledañas, tanto para pobladores como para la flora y fauna, es por esto que un porcentaje de las ganancias obtenidas de la exportación de los productos, van dirigidas a automatizar el proceso de explotación con la intención poder aumentar la eficiencia y disminuir la contaminación (Codelco, 2011), a su vez se busca innovar en la reducción de gases contaminantes en las plantas concentradoras (Barreto, 2008). Por último, otro porcentaje de la ganancia irá dedicado a la contratación, fomentando la creación de nuevos empleos y cubriendo a los trabajadores que sufran accidentes laborales.

Dado que el resultado del estudio global se centra en evaluar la calidad de vida, ésta debiera representar algo que se acumula (un nivel); tal calidad de vida es controlada por variables tales como la Ganancia, la contaminación y, tal vez, también, por una percepción de mayor seguridad al disminuir los accidentes laborales, entre otros.

8. MODELO MATEMÁTICO

$$G = \int_{2021}^{2036} f(t)dt \quad ; \quad f = k * P \quad ; \quad P = (\gamma * W) + (k * T) + I \quad ; \quad T = (\beta * W) + (k * E)$$

$$E = (\alpha * W) + A \quad ; \quad \alpha + \beta + \gamma = 1 \quad ; \quad W_0 = 100 \quad ; \quad C = \delta * (P + T + E)$$

$$W = W_0 + \left(\frac{\text{Contratacion}}{W_0} \right) - (\varepsilon * A_L) \quad ; \quad A_L = \left(\frac{W}{W_0} \right) - \left(\frac{W * M_L}{W_0} \right) \quad ; \quad M_L = \rho * G$$

$$\text{Contratacion} = \sigma * G \quad ; \quad A = \tau * G \quad ; \quad I = \varphi * G \quad ; \quad K = \frac{G-C}{100} \quad ; \quad k = cte.$$

Donde G corresponde a la ganancia producida en minerales por año; f corresponde a la cantidad de minerales exportados; P corresponde a la cantidad de minerales procesados; T corresponde a la cantidad de minerales transportados desde la mina; E corresponde a la cantidad de minerales explotados; los factores α, β, γ , corresponden al porcentaje de trabajadores designados a un área en específico; W corresponde a la cantidad de trabajadores actuales, mientras que W_0 son los trabajadores iniciales; C corresponde a la contaminación respecto a la cantidad de materiales producidos, donde δ es un factor de incremento respecto a los procesos; A_L corresponde al índice de accidentes laborales ocurridos cada 100 trabajadores, siendo ε la tasa de fatalidad por cada 100 trabajadores; M_L corresponde a la

cantidad de ganancia que fue invertida en Mejoras Laborales; A corresponde a la cantidad de ganancia que fue invertida en Automatización de Tronadura; I corresponde a la cantidad de ganancia que fue invertida en Innovación Tecnológica; los factores ρ , σ , τ , φ corresponden al porcentaje de la ganancia que fue invertida; K corresponde a la calidad de vida, la cual se expresa a la ganancia menos la contaminación producida, repercutida cada 100 trabajadores a lo largo del tiempo.

9. SIMULACIÓN VENSIM

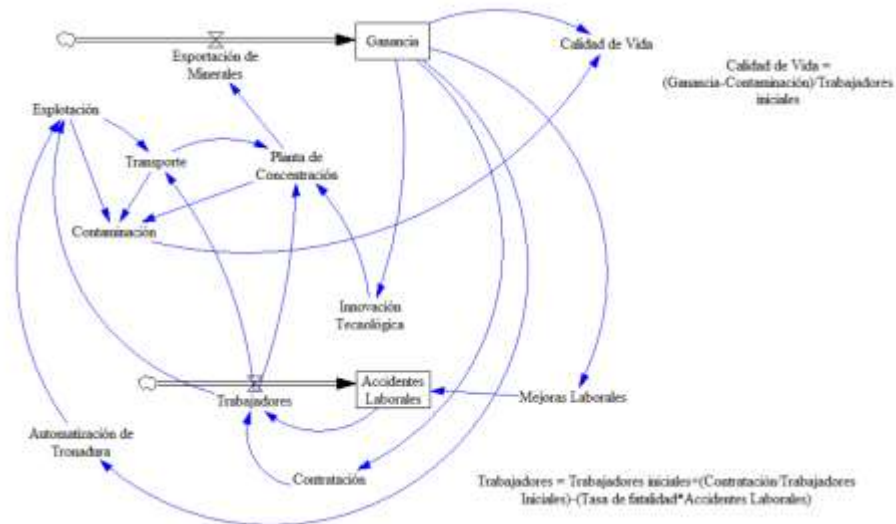


Figura 5. Diagrama de Flujo-Nivel en Vensim

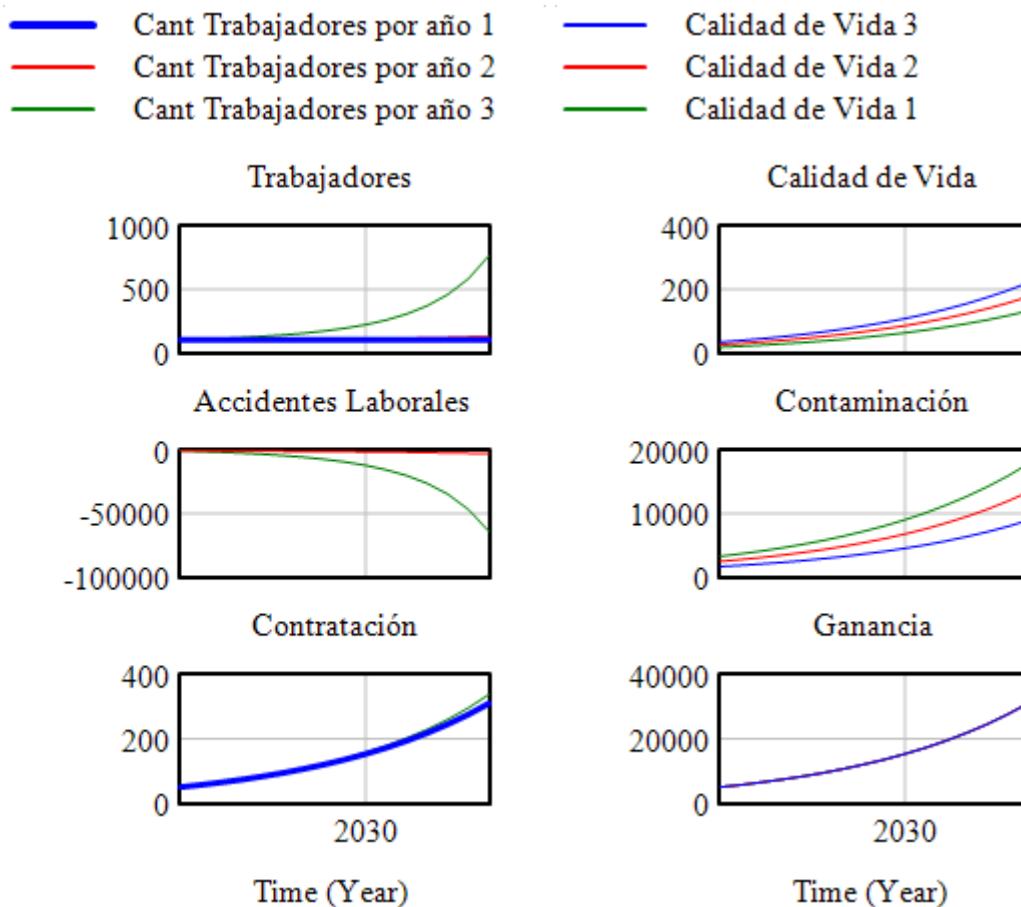


Figura 6. Gráficos que representan el comportamiento de los trabajadores y la calidad de vida respecto a los accidentes laborales y la contaminación, respectivamente

Tras realizar la simulación en Vensim, se logra observar cómo la contaminación puede afectar en la calidad de vida de la gente. Esto se corrobora debido a que existe un gran porcentaje de sitios con potencial presencia de contaminantes que ocurren en los procesos mineros, conduciendo a graves daños, no sólo al ecosistema, sino que también a la vida de las personas. En tanto para los trabajadores, las cifras de accidentes laborales respecto a la cantidad de trabajadores, se ve inversamente proporcional debido al cambio de valor en tema de invertir en mejoras laborales, provocando dicha disminución en accidentes, y generando una mayor ganancia a lo establecido, lo cual se ve regulado por la cantidad de trabajadores nuevos que ingresarían a la producción.

La ganancia se vería afectada en el sentido de que si se invierte en los distintos procesos de automatización (Automatización de Tronadura, Innovación Tecnología), llegaría a obtener beneficios, reducidos a cuántos minerales se puedan llegar a exportar, es decir, mejorando cada uno de sus procesos.

10. CONCLUSIONES

La ~~creación-redacción~~ de la prosa con la intención de problematizar a los distintos sectores económicos fue exitosa, puesto que ~~permitió-dar-a~~ permite entender las variables existentes en todo el sistema, además de combinar todos los sectores en una sola problemática general. El uso del diagrama de influencias permite efectivamente identificar las variables existentes para una modelización efectiva, además de entender las relaciones notando claramente los ciclos de refuerzo y de regulación, en ~~estos- éstos~~ se logra observar que actualmente la automatización va más enfocada a reforzar los procesos productivos, ~~en vez de tener que a~~ la chance de regular la contaminación; puesto que en el modelo productivo actual se prefiere más la eficiencia que la sustentabilidad.

Respecto al diagrama de Forrester, se logra analizar satisfactoriamente las variables y los flujos que son afectados, clarificando cuáles están directamente influenciadas, notando ~~una~~ su interdependencia, además de notar que toda la producción está determinada por un flujo de exportación, haciendo que las variables de los sectores primario y secundario se dediquen principalmente a tratar ese flujo para su exportación efectiva. También, ~~también~~ se observa que la contaminación no es la principal motivación, puesto que la innovación tecnológica y la automatización están enfocadas en las variables que afectan el flujo de la exportación.

En cuanto al modelo matemático, las variables que se llegan a utilizar intentan representar una realidad de cómo puede cuantificarse la calidad de vida de las personas, mediante las ganancias que se obtienen del proceso productivo, pero teniendo en cuenta los efectos contraproducentes que éstos generan, específicamente hablando, la contaminación, donde se intenta cuantificar para poder entregar un sentido matemático de la realidad y poder ser representado para, así, interpretar los diferentes casos de variabilidad que pueda llegar a tener.

Respecto a los resultados obtenidos a partir de la simulación en el programa Vensim, es posible observar cómo las variables generan grandes cambios en los diferentes estados de la cadena productiva, esto es que, si se genera una mayor inversión en diferentes procesos de automatización, estos refuerzan las ganancias que pueda llegar a obtener la empresa minera, pero en la práctica no todo puede salir beneficioso, debido a que se habla de una inversión, donde no se sabe, a ciencia cierta, acerca de si se generarán ganancias, puesto que en los procesos de automatización pueden llegar a fallar por diversos factores, los cuales ~~no fueron contemplados en~~ quedan más allá de los alcances de este trabajo. También se tiene en cuenta que no existe un control sobre la contaminación, debido a que, si el factor de la contaminación sobre los distintos procesos es demasiado alto, esto genera una pérdida en el índice de calidad de vida, pero que, a pesar de que esté siempre presente la contaminación, este índice tiende a crecer debido a que las ganancias superan por mucho a lo que pueda llegar a quitar la contaminación a la calidad de vida de las personas. También se debe ya que no se cuantificó, de manera real, el cómo podría afectar la contaminación, siendo sólo un estimativo, pero que también son resultados de los cuales se puede llegar a concluir. En la práctica, la contaminación siempre está presente, y a pesar de los grandes esfuerzos que se ha impuesto en la minería por manejar estas variables, existen cambios irreversibles para el ecosistema que puedan llegar a repercutir negativamente en este índice de calidad de vida impuesto. También se tiene en cuenta que la mayoría de los valores que se utilizan, son una interpretación para poder dar un significado lógico-matemático para la situación en la se ve envuelta la minería.

Pese a que el estudio en los primeros sectores con respecto a su modelización se ha reforzado mediante una investigación acerca de los problemas que residen en cada uno, el trabajo no fue realizado en completitud puesto que faltaron la mayor parte de los sectores económicos por estudiar, por lo que la mirada de problematización general se vio delimitada, generando una minimización del sistema, repartiéndose entre el primer y segundo sector.

En cuanto al trabajo realizado, se logra comprender e identificar las variables que influyen en todo el proceso productivo, además de analizar y destacar la variable principal por cada sector productivo estudiado. También se comprendió la problemática en un ámbito no reduccionista por medio de una dinámica de sistemas teniendo una mirada crítica de la situación general de los sectores económicos estudiados, esto demuestra que, a pesar de que cada uno de ellos tenga un enfoque distinto, existen elementos que los unen y, de por sí, poder encontrar problemáticas que influyen en todos los sectores.

Estas conclusiones calzan bien con el objetivo propuesto en las observaciones (que señalan la no conveniencia de tener como objetivo la aplicación de la metodología)

Referencias

- Barreto, H. A. (Septiembre de 2008). *Scielo*. Recuperado el 25 de Julio de 2021, de http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-56092008000300005&script=sci_arttext
- CDT. (25 de Abril de 2014). *Portal CDT*. Recuperado el 25 de Julio de 2021, de <https://www.cdt.cl/automatizacion-en-mineria-el-futuro-es-ahora/>
- Cochilco. (Abril de 2015). *Codelco*. Recuperado el 25 de Julio de 2021, de https://www.cochilco.cl/Listado%20Temtico/Informe_caracterizacion_de_los_costos.pdf
- Codelco. (6 de Julio de 2011). *Codelco*. Recuperado el 23 de Julio de 2021, de <https://docs.google.com/document/d/1MFc6tJflrqLJIVyvjaAr-60U4ApEIRap6XWMU9gysN8/edit>
- Enríquez B., S., & Sánchez C., J. (Diciembre de 1996). *Sistema de Bibliotecas de la UNMSM*. Recuperado el 25 de Julio de 2021, de <https://biblioteca.unmsm.edu.pe/Redlieds/Recursos/archivos/pequenamineria/Chile/impacto-ambiental.pdf>
- Fernández, G. (s.f.). *Universidad de Cantabria*. Recuperado el 23 de Julio de 2021, de https://ocw.unican.es/pluginfile.php/3084/course/section/2841/tema_01.pdf
- Minero, C. (Junio de 2021). *Consejo Minero*. Recuperado el 25 de Julio de 2021, de <https://consejominero.cl/chile-pais-minero/cifras-actualizadas-de-la-mineria/>
- Sernageomin. (Julio de 2015). *Sernageomin*. Recuperado el 25 de 07 de 2021, de https://www.sernageomin.cl/wp-content/uploads/2018/05/Balancede_accidentabilidad.pdf
- W.P. (21 de Mayo de 2019). *IndustriALL*. Recuperado el 25 de Julio de 2021, de <http://www.industrialall-union.org/es/informe-especial-por-que-la-mineria-es-aun-tan-peligrosa>
- Zaldívar, M. (s.f.). *Productos / Minera Zaldívar*. Recuperado el 23 de Julio de 2021, de <https://web.minerazaldivar.cl/que-hacemos/productos/>