

SISTEMA INTEGRADO DE EVALUACIÓN DE TURNOS: SHIFTWORK ASSESSMENT

INTEGRATED SHIFTWORK ASSESSMENT SYSTEM

Mario Sandoval-Martínez*
Claudio Hermes Garuti-Anderlini**

Resumen: Los sistemas utilizados actualmente para diseñar y evaluar sistemas de turnos llevan alrededor de 30 años desde su creación sin haber sido actualizados y presentan diversos problemas. Algunos ejemplos de estos problemas son: no integrar factores psicosociales, rigidez en su proceso de evaluación (incapaz de ser personalizados) y no reflejar nuevas formas de trabajo. Otros sistemas utilizan escalas tipo Likert y hacen aproximaciones que no tienen un respaldo matemático serio. Todos estos problemas pueden ser evitados utilizando la metodología multicriterio AHP/ANP. AHP/ANP evita estos escollos sin presentar excesivas complejidades durante su implementación. Respecto a esto último, cabe mencionar que ya existe una herramienta computacional que se ejecuta en una plataforma web y que puede personalizarse para muchos casos diferentes, incluidos sus umbrales particulares de tolerancia al impacto. Esta herramienta computacional (llamada Shiftwork Assessment), brinda solución a diferentes situaciones geográficas de trabajo por turnos, tales como: turnos con o sin altitud, turnos cerca o lejos de localidades urbanas, turnos con o sin campamento y sus posibles combinaciones (Proyecto CORFO, súmate a innovar. 2022-2023).

Palabras clave: Ergonomía, turnos, factores psicosociales, escalas de medida, AHP, altura geográfica.

Abstract: The systems currently used to design and evaluate shift systems have circa 30 years old since their creation without have been updated and they present various problems. Some of these problems are: not integrating psychosocial factors, rigidity in its evaluation process (unable to be customized) and not reflecting new ways of working. Other systems use Likert-type of scales and make approximations that do not have serious mathematical support. All these problems can be avoided by using the AHP/ANP multicriteria methodology. AHP/ANP avoid these pitfalls without presents excessive complexities during its implementation. Regarding the latter, it is worth mentioning that there is already a computational tool running on web platform able to be customized for many different cases including their particular thresholds of tolerance for impact. This computational tool (called Shiftwork Assessment), provide solution to different forms of geographic situations, as: shifts with or without altitude, shifts far or close to urban localities, shifts with or without camp and their possible combinations (CORFO Project, join into innovate. 2022-2023).

Keywords: Ergonomics, shifts, psychosocial factors, measurement scales, AHP, geographic height.

*Fulcrum Ingeniería Ltda. Santiago, Chile. Correo electrónico: marsam1061@gmail.com. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5578-4629>. Autor de correspondencia.

**Fulcrum Ingeniería Ltda. Santiago, Chile. Correo electrónico: claudiogaruti@fulcrum.cl. Orcid: <https://orcid.org/000-0002-3723-8878>

Recepción: 15.11.2023/ Revisión: 28.11.2023 / Aceptación: 08.12.2023

Introducción

Los sistemas utilizados para diseñar y evaluar sistemas de turnos llevan alrededor de 30 años desde su creación, sin la necesaria actualización, no integran los factores psicosociales y tienen rigidez en su valoración interna y no reflejan las nuevas formas de trabajo. Otros sistemas utilizan escalas tipo Likert y realizan aproximaciones que no tienen un respaldo matemático serio, utilizando escalas que no recogen medida lo que hace sus operaciones aritméticas indefinidas. Entre estas está el método Besiak (Schonfelder & Knauth, 1993) que, si bien presentan varios errores, ha permitido una aproximación interesante a un problema complejo.

Dado lo anterior, se presenta el uso de un sistema actualizado de evaluación de sistemas de turnos, Shiftwork Assessment (SA), que incorpora 3 ámbitos de evaluación, a saber: aspectos del trabajador, la empresa y la comunidad, construyendo modelos de decisión flexibles (estructuras de decisión y evaluación adaptables en el tiempo, al avance en el conocimiento y en la cultura), utilizando escalas de medida cardinal cuya formulación permite obtener los pesos de cada criterio que compone el modelo de decisión. Luego, se aplica este modelo o estructura de evaluación bajo el concepto de medida absoluta lo que permite una correcta evaluación de la alternativa (el turno) en cada criterio terminal o indicador de medida contemplado en el modelo. De esta forma, se logra la incorporación del conocimiento reciente en esta área (Garuti, 2017; Garuti, 2021a; Garuti, 2021b) sin transgredir las bases de la teoría de la medida.

Objetivo

Mostrar el método de construcción, experiencia en uso y actualización de la herramienta Shiftwork Assessment.

Materiales y métodos

Teoría matemática subyacente

Todo método científico que se precie de tal requiere de una teoría y una axiomática que lo sustente (Russel & Whitehead, 1912). El método científico específico utilizado para construir Shiftwork Assessment fue el AHP (Analytic Hierarchy Process) (Garuti & Sandoval, 2006). Método multicriterio construido por el PhD en matemáticas Thomas L. Saaty durante la década de los setenta y que ha ido evolucionando en el tiempo, siendo actualmente el ANP (Analytic Network Process) su sucesor.

Este proceso de evaluación está basado en cinco elementos claves que se describen a continuación:

Primero: Los axiomas del AHP

Los axiomas son los elementos básicos que definen el marco de acción de la metodología.

En el AHP existen 4 axiomas, a saber:

- Axioma 1: Condición de reciprocidad

La intensidad de preferencia de A_i sobre A_j debe ser inversa a la preferencia de A_j sobre A_i .

$$A_i = n A_j \implies A_j = 1/n A_i$$

- Axioma 2: Condición de homogeneidad

Los elementos a comparar deben ser de un mismo orden de magnitud.

$$A_i < 10 A_j \quad \forall i, j \in \text{al Nivel } k \text{ de la Jerarquía}$$

Este es un axioma muy importante de verificar, puesto que se cometen muchos errores de modelación producto de no revisar el grado de homogeneidad de los componentes (criterios o alternativas) a ser medidos (vía comparación a pares).

- Axioma 3: Condición de dependencia (Feed-back)

Se debe identificar y controlar la dependencia entre los elementos de la estructura:

Externa: Entre criterios y/o alternativas ubicadas en distintos niveles de la jerarquía.

Interna: Entre criterios y/o alternativas ubicadas en el mismo nivel de la estructura.

Este axioma requiere tener un buen entendimiento del funcionamiento y dependencias dentro del sistema a ser evaluado, tal que permita una modelación acorde con la realidad.

- Axioma 4: Condición de cumplimiento de expectativas

Todas las expectativas deben ser representadas en la estructura, en términos de criterios y alternativas. Se espera que las prioridades obtenidas sean compatibles con estas expectativas.

Este axioma se refiere a que se deben considerar todos los criterios que entran en juego en la decisión. El no hacerlo, conlleva la obtención de resultados que pueden no reflejar las expectativas.

Segundo: El principio de superposición jerárquica del AHP

Este principio permite aproximarse a problemas complejos (no lineales) mediante una superposición de rectas, de la misma manera que se puede aproximar a una curva de mayor grado mediante una serie de pequeñas rectas tangentes, donde cada recta de aproximación se puede asimilar a un nivel de la jerarquía.

La ecuación de superposición para obtener la prioridad de una alternativa cualquiera está dada por la multiplicación vertical de los pesos de los criterios de cada nivel "i" de cada rama "j" de la jerarquía (w_{ij}). Luego, se realiza la suma ponderada horizontal en su nivel inferior, ponderando el valor relativo local de la alternativa (A_{ij}^k) en cada criterio terminal de

la jerarquía, lo que da como resultado el valor relativo global (respecto al objetivo global o Goal) de la alternativa “k” definido como (A_g^k), tanto en medida relativa como absoluta.

De esta forma, la evaluación global de la alternativa está dada por la expresión matemática:

$$A_g^k = \sum_j (\prod_i w_i^j) * A_j^k \tag{Ec.1}$$

Con:

$i = n^\circ$ de niveles

$j = n^\circ$ de criterio terminales

$k = n^\circ$ de alternativas

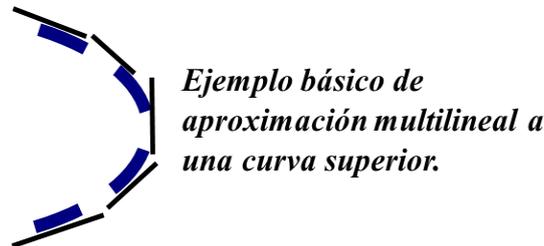
$w_i^j =$ peso del criterio j en el nivel i

$A_j^k =$ evaluación local de la alternativa k en el criterio terminal j

$A_g^k =$ evaluación global de la alternativa k , evaluada en todos los criterios terminales (los indicadores de medida).

Estas funciones se conocen como funciones multilineales, son la forma más simple de las funciones no lineales y cuya densidad en los espacios de Banach asegura una capacidad de representar el problema en la escala o profundidad que el usuario requiera (figura 1).

Figura 1. Aproximación multilineal a una curva superior.



Por otra parte, es interesante notar que si la jerarquía tiene un solo nivel de criterios (i.e. $i=1$), corresponde al caso más simple de una jerarquía. En este caso, el modelo AHP será efectivamente una función lineal simple ($\sum_j w_j * A_j$) con una baja capacidad de representar problemas complejos.

El concepto de forma multilineal, juega un rol especial en la captura y consolidación del significado de los juicios en las estructuras jerárquicas (AHP) y de redes (ANP) de manera tal que, con un esquema “paso-a-paso”, permite aproximarse y profundizar el entendimiento del problema y su complejidad tanto cuanto sea necesario.

Todo problema (conexo), sin importar su complejidad, puede ser aproximado (cubierto) por una forma multilineal.

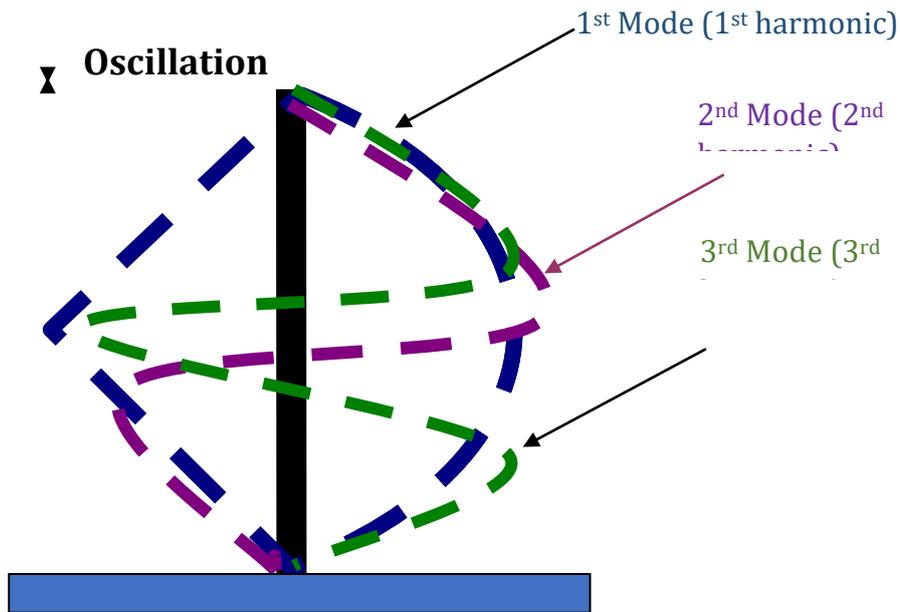
Tercero: El cálculo de los pesos $W(i)$ (el operador vector propio)

Los pesos de los criterios $W(i)$, se calculan a partir de las matrices de comparación a pares (MCP) de cada nivel de la jerarquía. Esto se realiza a través del operador sistémico vector

propio acompañado por el índice de consistencia estadístico que se calcula a partir del mayor valor propio de la matriz asociado al vector propio y que define el punto de equilibrio estable de la MCP.

A continuación, una representación física del vector propio para una mejor comprensión (figura 2).

Figura 2. Representación física del vector propio.



Al tener un vector propio dominante o principal, es decir, uno de los modos acumulando la mayor parte de la información del sistema dentro de sí, ese modo será el vector propio dominante y representará las preferencias dentro del sistema en su estado final o de equilibrio (se podría definir en términos análogos a un centro de gravedad de la información en su estado de equilibrio).

Las ecuaciones a utilizar, para determinar el punto de equilibrio estable con una consistencia aceptable, son:

$$W(i) = (A)^n e / (e(A)^n e) \tag{Ec.2}$$

Con:

e = vector unitario {1, 1,...,1};

(A) = Matriz de comparaciones a pares.

W(i): Vector Propio. Una métrica en escala absoluta para sistemas complejos.

$$\lambda_{\max} = (\text{Traza } |A|^n)^{1/n} \tag{Ec.3}$$

$$IC = \{(\lambda_{\max} - n) / (n - 1)\} \tag{Ec.4a}$$

$$RC = IC / IR \tag{Ec.4b}$$

Con:

λ_{\max} = mayor valor propio de la matriz: una medida de la consistencia de la métrica construida.

IC = índice de consistencia (se desea estar lo más cercano al valor de n)

IR: índice de consistencia random (se desea estar lo más lejos posible de este valor)

RC: razón de consistencia < 10% \square razón de consistencia aceptable

n: dimensión de la MCP.

En síntesis, el proceso de evaluación de preferencias captura las prioridades de los juicios mediante la comparación a pares de los elementos pertenecientes al modelo de preferencias. Estas comparaciones se acomodan en una matriz. Las prioridades son derivadas de la matriz a partir del mayor vector propio, el cual define una escala de razones absoluta.

La teoría matemática de fondo (álgebra vectorial, teoría de grafos, teoría de las perturbaciones y teorema de Perron-Frobenius), asegura la validez de los resultados y medir la inconsistencia de los juicios. Prioridades derivadas de esta manera satisfacen las propiedades de una escala de proporciones, de la misma forma que lo hacen las propiedades de las escalas físicas tales como peso o longitud.

Cuarto: La medida relativa (RM) y la medida absoluta (AM)

En el mundo físico, los objetos pueden ser medidos en forma relativa (comparándolos entre sí) o en forma absoluta (comparándolos contra un estándar).

La medida absoluta es un concepto muy diferente de la medida relativa, por ejemplo: cuando se usa una vara para medir una habitación se está utilizando una medida absoluta al aplicar la vara como un estándar y comparar contra él.

Las medidas absolutas son independientes, no se modifican por el hecho de medir otros elementos con la misma vara.

En la teoría multicriterio y en particular en el AHP/ANP, la medida absoluta es la extensión de la idea de la vara en que se utilizan diferentes varas para el conjunto de criterios terminales del modelo.

En el AHP/ANP existen dos formas de evaluar las alternativas, la medida relativa (MR) que es la forma más conocida donde se comparan las alternativas entre sí y la medida absoluta (MA). En esta última, se construye una escala de medida absoluta a los criterios terminales (normalmente una escala para cada criterio terminal).

Esta segunda forma de medir las alternativas es poco conocida en el mundo multicriterio. Sin embargo, resulta muy útil en ingeniería, particularmente para la construcción de estándares y para la construcción de umbrales analíticos y su aplicación.

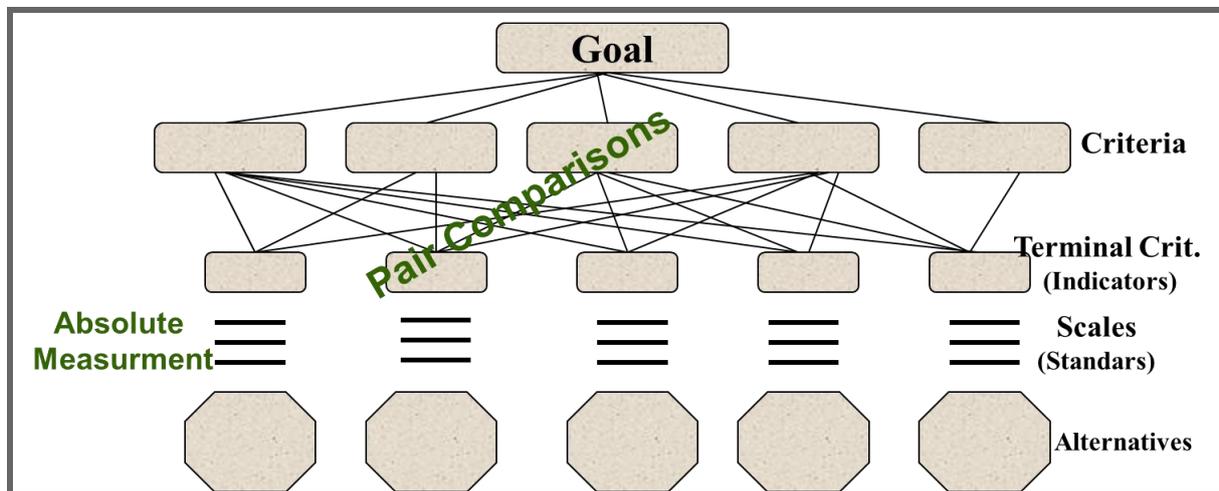
El concepto de umbral

El umbral corresponde a un punto de corte o cambio de intensidad, donde el nuevo valor de impacto adquiere una significación distinta, por ejemplo, pasar de un riesgo tolerable a uno no tolerable. Este punto de corte puede darse tanto a nivel local (en un indicador o criterio particular), como a nivel global (todo el modelo).

El umbral es un elemento indispensable en la construcción de estándares en la toma de decisiones. Por ejemplo, el nivel máximo de riesgo tolerable o nivel mínimo de beneficio requerido para ser eficaz una acción o proyecto. Estos valores o estándares pueden existir (p.ej. normativa legal) o pueden ser contruidos mediante análisis y consensos.

En la figura 3, se ilustra la diferencia de la medida absoluta en AHP.

Figura 3. Representación del modelo Shiftwork Assessment. Se destaca el área de comparación a pares.



Notar que sólo las alternativas se miden en forma absoluta, en el resto se aplica la medida relativa.

Las alternativas se miden contra los estándares (escalas) de cada criterio terminal.

Cada criterio terminal (indicador) lleva asociado una escala de intensidades, a través de la cual se evalúa cada alternativa en términos absolutos (Tabla 1).

Tabla 1. Escala de Intensidades. Experiencia Laboral.

MCP para experiencia	Excepcional	Mucha	Promedio	Alguna	Muy poca	Escala de razones absoluta
Excepcional > 14	1	a_{12}	a_{13}	a_{14}	a_{15}	1
Mucha (8-14)		1	a_{23}	a_{24}	a_{25}	0.5815
Promedio (4-7)			1	a_{34}	a_{35}	0.2792
Alguna (1-3)				1	a_{45}	0.1163
Muy poca < 1					1	0.0698

En ambos casos debe transformarse la escala (en este caso de tipo ordinal), a una escala de razones absoluta normalizada (con norma máximo o ideal), a través de la función de transformación (explicada más adelante) a partir de la matriz de comparaciones a pares como lo muestra la tabla 2.

Tabla 2. Matriz de comparación a pares.

Escala cualitativa	Escala cuantitativa	Escala de razones absoluta
Excepcional	15 o más años de experiencia	1.0000
Mucha	Entre 8 y 14 años	0.5815
Promedio	Entre 4 y 7 años de experiencia	0.2792
Alguna	Entre 1 y 3 años de experiencia	0.1163
Muy poca	Menos de 1 año de experiencia	0.0698

Quinto: Las escalas y sus invariantes

El concepto de escalas de medida y sus alcances es un conocimiento poco conocido y poco divulgado con la fuerza que se requiere entre la gente que construye indicadores.

Es frecuente encontrarse con escalas ordinales o de intervalos (incluso nominales), trabajadas como si fueran escalas proporcionales o de razones absolutas, lo cual invalida todo el trabajo realizado (incluyendo el cálculo del umbral, del estándar y del valor de impacto obtenido). Por esto, se sugiere fuertemente utilizar escalas proporcionales o de razones absolutas. En este caso, se trabajará con escalas de razones absolutas, en línea con el método AHP en su modo absoluto de medida.

Tipos de escalas más utilizadas

Escala nominal: Invariante bajo correspondencia uno a uno (función biyectiva)

Sirve para identificar elementos. Ejemplo: número de una cuenta corriente, número de teléfono, cédula de identidad, etc. Los números de la escala no entregan ninguna información adicional. No se puede realizar ninguna operación aritmética válida con estos números. No constituyen medida.

Escala ordinal: Invariante frente a transformaciones monótonas

Sirve para ordenar los elementos de la escala. Los números de la escala sólo explicitan el orden de menor a mayor o de mayor a menor de la escala. No se puede realizar ninguna operación aritmética válida con estos números. No constituyen medida. Lo más que se puede hacer en esta escala es determinar una moda y en algunos casos particulares la mediana del conjunto. Aquí se puede ubicar también la escala de Likert en su forma básica. Estas son escalas muy usadas en pruebas psicológicas, evaluaciones ergonómicas, mediciones de impacto psicosocial, conduciendo a errores de interpretación y toma de decisiones sobre una base equivocada.

*Escala de intervalos: Invariante frente a la transformación $Y = a * X + b$, con; a y b positivos*

Ejemplos: Escala de temperatura, función de utilidad.

En esta escala se puede restar valores de la misma escala o hacer una suma ponderada de valores de la misma escala, pero no se puede sumar ni multiplicar valores de la misma escala o de escalas distintas. Esto es así por el invariante que presenta esta escala ($Y = a * X + b$, ecuación de la recta que pasa por b , con $a, b > 0$).

Al sumar dos elementos de la escala se obtiene $Y = a * (X_1 + X_2) + 2b$, cuya forma es del tipo: $aX + 2b$, perdiendo su invariante ya que el punto de corte pasa a ser $2b$ y no b . Sin embargo, la resta está permitida ya que en ese caso los “ b ” se eliminan y queda $Y = aX$, que corresponde a una escala de proporciones la que tiene propiedades mayores que la escala de intervalos.

También se denomina escala de intervalos de proporción ya que, al realizar la diferencia el valor obtenido pertenece a una escala de proporciones lo que, en teoría, permite hacer razones entre escalas del tipo $(\Delta Y / \Delta X)$. Sin embargo, este procedimiento conlleva ciertos peligros especialmente al momento de normalizar los vectores.

*Escala de razones o proporciones: Invariante frente a la transformación $Y = a * X$ con: a positivo*

Se puede sumar y restar valores de la misma escala, multiplicar y dividir valores de escalas diferentes. Como ejemplo, se pueden mencionar todas las escalas físicas de medida (distancia, tiempo, velocidad, etc..), es lo que normalmente se entiende por medida.

Notar que esta escala es una escala dimensional, es decir, presenta unidades (Kg, Km, segundo, etc..) permite su combinación. Ej.: velocidad = distancia/tiempo y requiere de un cero conocido (no arbitrario).

Escala de razones absoluta: Invariante frente a la transformación $Y = X$ (función identidad)

La escala de razones absolutas es un caso particular de la escala de proporciones ($a=1$), por lo que hereda todas sus propiedades. Esta escala se diferencia de la anterior porque se normaliza por “ a ” dejando a la función identidad ($Y=X$) como su invariante. Por lo tanto, esta es una escala adimensional absoluta, no requiere de un cero conocido y su neutro es el uno.

Ejemplos de esta escala son el número de Reynolds, el número de Mach, el número Π , el número “e”, los números de la escala fundamental de Saaty y todos los números que usamos en el día a día (enteros, racionales, irracionales, reales, complejos...).

La gran ventaja que presenta esta escala es que no se preocupa de definir qué tipo de cantidad representa el número. Es decir, si se dice $a=3*b$, uno no se pregunta si el número 3 es 3 kilos o 3 litros, simplemente representa la razón o proporción de un elemento respecto del otro, es un valor absoluto.

Por otro lado, la escala absoluta no requiere la presencia del cero en su construcción. Esto es importante ya que, cuando en una escala absoluta se dice que $A = B$, se está diciendo: $A/B = 1$ y no $A - B = 0$.

De hecho, el neutro de esta escala es el 1 y no el 0. Esto se entiende mejor en una escala logarítmica donde si $A=B$, entonces $\log(A/B) = 0$ y $\log(A-B)$ no está definido.

El cero en la escala absoluta no está definido. Por lo tanto, la métrica “estándar” (que pertenece a una escala de proporciones) que se conoce que incluye el 0, no responderá necesariamente a la capacidad de sentir y percibir las experiencias y por ende representar adecuadamente los sistemas que nos rodean (¿Dónde está el cero de belleza o el cero de alegría?).

En general se puede decir que:

0 = Neutro tradicional, perteneciente a la escala de proporciones adecuada para las escalas físicas conocidas.

1 = Neutro de la escala de razones absoluta (escalas de sensaciones y percepciones). La que se puede definir como una escala adecuada para el ámbito de la toma de decisiones.

Es interesante notar que, en las escalas físicas primero viene la evaluación y luego la interpretación de lo evaluado, mientras que en las escalas de decisión primero está el entendimiento y/o conocimiento del tema y luego su evaluación o construcción del número que lo representa, normalmente a través de la construcción de una escala absoluta de medición.

Asociado a todo lo anterior, es interesante recordar que el cerebro percibe mejor los cambios de intensidad bajo una escala logarítmica (ley de Weber-Fechner). Este, es uno de los motivos principales del porqué las escalas construidas por los expertos bajo este esquema resultan en general del tipo exponencial o logarítmico (ejemplo: escala sísmológica de Richter).

Estas características hacen de la escala de razones absoluta la ideal para trabajar con ella, pues permite su manipulación operativa y combinación con múltiples indicadores de manera matemáticamente correcta y adecuada para representar sensaciones y percepciones. Lo que, entrega la capacidad de construir estándares y umbrales (locales y globales) de manera natural.

Otro concepto importante de explicar es el de invariante (mencionado en el punto anterior de las escalas).

Un invariante es algo que no varía bajo una transformación numérica de algún tipo. Por ejemplo, si una barra rígida de longitud 3m la movemos una distancia d , ésta no verá alterada su longitud, es decir, la medida de la barra es invariante a una traslación de coordenadas. En general, todas las teorías físicas incluyen el axioma o principio de objetividad según el cual, aunque diferentes observadores pueden llegar a medidas diferentes de la misma realidad objetiva, todas ellas son relacionables mediante reglas generales. Es decir, la objetividad del mundo material se refleja en la intersubjetividad de las medidas físicas. Puede demostrarse que la existencia de intersubjetividad de las medidas conduce a que pueden formarse ciertas expresiones matemáticas que relacionan las medidas que son invariantes en forma para todos los observadores.

A este respecto, cabe hacer notar que el operador vector propio es un invariante en forma, la razón $a/b=3$ no cambia su valor, es independiente del sistema de referencia o base vectorial utilizada.

Un último punto relevante al que se ha hecho alusión, en directa relación con el concepto de escalas de medida, es la idea de umbral o punto de corte.

El umbral es un elemento indispensable en cualquier proceso de toma de decisiones, pero con especial atención en los modelos de evaluación del riesgo. En estos modelos es de alta relevancia poder responder a la pregunta: ¿Si el riesgo es inevitable cuál es el máximo nivel de riesgo tolerable?

Este nivel de riesgo tolerable, debe ser calculado analíticamente (formulación analítica que explique de donde provienen los valores de punto de corte su forma de cálculo y su relación con la escala de medida utilizada. El valor del umbral no debe ser una imposición ad-hoc por parte del usuario (que es lo que a veces se ve en los estudios a este respecto, como por ejemplo el método del tricorte o método del semáforo (caso del Besiak), el método de los mínimos (utilización del valor mínimo observado) o del max-min (promedio aritmético del valor máximo y mínimo de una serie) o el de disección del plano coordenado en cuatro zonas. Todos estos métodos carecen de un racional y no son mejores que un esquema de determinación ad-hoc.

El umbral puede pertenecer a cualquier tipo de escala: nominal, ordinal, de intervalos, proporcional, proporcional absoluta, semi-log, log. Dependiendo de la escala, es la capacidad de operación numérica de los elementos de la escala.

En la tabla 3 se muestran los tipos de escala más comunes, su invariante y un ejemplo de umbral de tipo didáctico.

Tabla 3. Escalas, invariantes y ejemplo de uso.

Tipo de escala	Invariante	Ejemplo de umbral de escala
Nominal	Función Biyectiva (correspondencia uno a uno)	Patentes terminadas en 3 y 4 (Excluidas de poder circular)
Ordinal	Función Monótona (creciente o decreciente)	Nota mínima: 4,0 (Mínimo para aprobar un curso)
Intervalos Inv: $Y=aX+b$	$Y=aX+b$. ($a, b > 0$) (Ec. de la recta que pasa por $b > 0$).	Temperatura: 37°C (Temperatura máxima aceptable para ingresar a un local)
Proporcional (Dimensional con cero conocido)	$Y=aX$. ($a > 0$) (Ec. de la recta que pasa por 0)	Velocidad: 50Km/Hr (Velocidad máxima permitida para poder circular).
Proporcional Absoluta (Adimensional con o sin cero conocido)	$Y=X$ (Función identidad)	Riesgo: 0,2485 (24,85%). Ejemplo de riesgo máximo aceptable para implementar un proyecto en un territorio.

No es una condición necesaria la existencia del cero en la escala. (Véase el caso de la escala de razones absoluta). Es frecuente pensar que es el cero quién hace la diferencia en el tipo de escala. Sin embargo, el cero es más bien una consecuencia del tipo de escala. La escala es definida matemáticamente por su invariante, no por la presencia o ausencia del cero en ella.

Representatividad de la escala de medida

La representatividad de una escala, es la capacidad de los números que pertenecen a dicha escala de representar las sensaciones y emociones capturadas a partir de las experiencias adquiridas las que, en última instancia, pueden (o no) transformarse en conocimiento adquirido y, de esta forma, incorporarlo al proceso de toma de decisiones de los actores.

En una escala cuantitativa de tipo proporcional los números que la componen no representan necesariamente (en sí mismos) la medida de la intensidad de preferencia que debe ser capturada en una escala de medida. Esta necesaria captura de representatividad numérica de la escala hace necesario transformar esta escala, inclusive si ya es en sí misma una escala proporcional de medida.

Un ejemplo de esto último, es la medida de peligrosidad de la velocidad de un vehículo. Si bien 80Km/hr es proporcionalmente el doble de 40 Km/hr, su razón de peligrosidad en caso de accidente no es 1:2, es mucho mayor (en este caso producto de la energía involucrada).

Por lo tanto, es necesario capturar esas diferencias o, mejor dicho, sus razones de intensidad sean estas cuantitativas o cualitativas (p.ej. energía, calidad, preferencia, gusto, aroma, etc...). Esto, se logra a través de las razones o proporciones comparativas entre las sensaciones generadas en cada situación ($a_{ij}=s_i/s_j$), las que se ordenan en una matriz de

comparaciones a pares (MCP) cuyo punto de equilibrio está dado por el mayor vector propio de la MCP.

A continuación, un ejemplo de una matriz de 3x3 (3 comparaciones requeridas).

En general, el número de comparaciones requeridas en una matriz es: $n*(n-1)/2$, siendo “n” la dimensión o tamaño de la matriz.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & 1 & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & 1 \end{bmatrix} \quad a_{ij} = 1/a_{ji} \text{ (matriz recíproca positiva).}$$

Con:

a_{ij} = comparación del elemento “i” con el elemento “j”

(Sensación/experiencia/conocimiento del elemento “i” respecto del elemento “j”)

La escala de medida generada a través de una MCP, corresponde a una escala de razones absoluta y está profundamente incorporadas en el método AHP y ANP en su modo de medida absoluta.

La función de transformación

Las coordenadas del vector propio de la MCP pueden ser visualizadas como la función de transformación en un plano coordenado, transformando escalas de preferencia ordinales (o de otro tipo) sobre el eje de las abscisas (eje X), en escalas de razones absolutas sobre el eje de las ordenadas (eje Y) con un rango que va de 0 a 1. Su objetivo es capturar las intensidades de preferencia entre los elementos a comparar en la matriz en su punto de equilibrio.

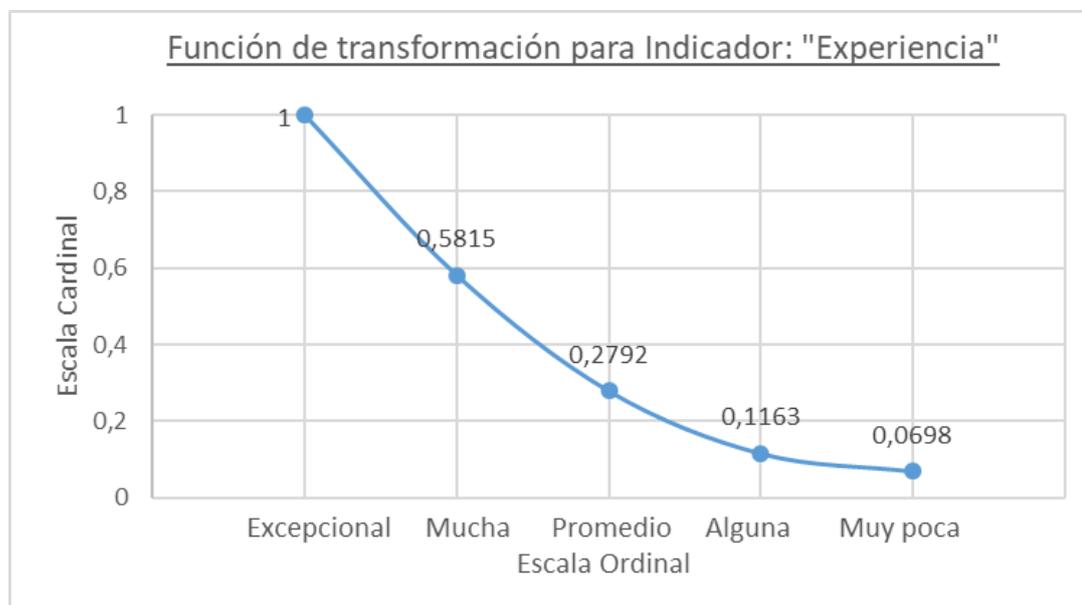
La figura 4, muestra una ilustración de una función de transformación de una escala ordinal (eje X) a una escala cardinal (eje Y) para el ejemplo “nivel de experiencia” descrito anteriormente.

Notar la no linealidad de la curva, especialmente en la zona inferior, ajustándose, en este caso, más a una función cuadrática. Si se piensa que cada uno de los indicadores del modelo sigue una tendencia similar, incluso de tipo exponencial en la mayoría de los casos, es fácil comprender el error que se puede cometer al considerar escalas ordinales (lineales por definición) y superponerlas.

También es posible obtener las escalas de medida a partir de datos de terreno, pero eso requiere que el indicador sea de tipo cuantitativo, lo que muchas veces no es posible, y que existan los datos suficientes para validarla. Además, requiere siempre de la interpretación del experto respecto a los datos capturados (recordar que los datos no conllevan una interpretación en sí mismos). Esta interpretación debe ser hecha de manera cuidadosa considerando la experiencia del experto respecto al comportamiento y significado de la variable. Esta interpretación debe ser capturada metodológicamente y de forma analítica. En

general no sirven simples encuestas, normalmente basadas en escalas ordinales, que no reflejan los cambios de intensidad en la escala.

Figura 4. Función de transformación para el indicador experiencia.



El objetivo final de la función de transformación es capturar las intensidades de preferencia entre los elementos que componen la escala en su punto de equilibrio con la ayuda del experto (su interpretación de los datos y su experiencia).

Cabe hacer notar que, la función de transformación de una escala es el primer paso o requisito para determinar el valor del umbral local de la escala de forma analítica.

Conclusiones sobre las escalas

- La complejidad de los problemas a ser resueltos lleva normalmente al uso de un gran número de variables e indicadores, orientados a analizar las alternativas disponibles.
- Estos indicadores y escalas deben ser propios del problema, independiente de su naturaleza cualitativa o cuantitativa.
- El AHP/ANP entrega un mecanismo para construir medida y escalas cardinales para todo tipo de escalas de intensidades. Sólo escalas que constituyen medida poseen las propiedades aritméticas necesarias para integrar resultados desde y hacia otros métodos y, por ejemplo, realizar análisis de sensibilidad y estabilidad.
- Es importante entender la naturaleza y propiedades de las escalas que utiliza cada metodología para usarlas adecuadamente.
- El desarrollo tecnológico nos ha llenado de cifras y datos. El desafío es determinar las variables relevantes de un problema y encontrar los datos necesarios y su representatividad o importancia para evaluar las alternativas dentro del contexto del problema.

- Los números son importantes, pero el conocimiento es más importante aún. Los números, por sí solos, pueden ser totalmente inválidos, inútiles o irrelevantes.

Scales from measurement not measurement from scales! (Saaty, 2004).

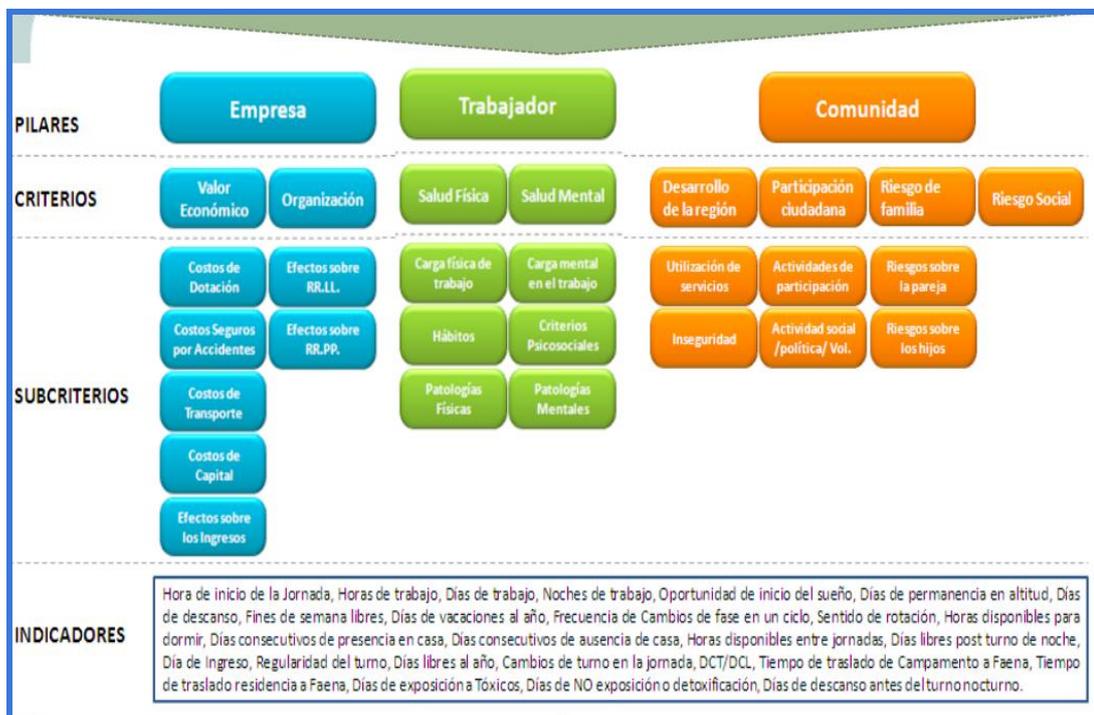
Metodología de aplicación Shiftwork Assessment (SA)

Con esta base metodológica se configuraron distintos escenarios de modelación como son trabajos a gran altitud, con o sin campamento, sistemas a bajo altitud, turnos urbanos, etc.

En una primera oportunidad se desarrollaron mesas de expertos que construyeron matrices de interés para 3 pilares en un sistema de turno: empresa, trabajadores y comunidad. Cada uno de ellos, debía respaldar sus opiniones tanto de manera verbal como con literatura que avalara su postura. La diversidad de participantes enriqueció las miradas para cada escenario. Desde su creación, los modelos Shiftwork Assessment han debido ir actualizándose al conocimiento y cambios culturales. Los riesgos sobre enfermedades crónicas no transmisibles del adulto relacionadas al trabajo en turnos como interrupciones circadianas de tipo cardiometabólico (Mayeuf-Louchart et al., 2017; Gärtner et al., 2019; Buxton et al., 2012; Buxton & Marcelli, 2010; Gale et al., 2011), sobre todo en diabetes (Monk & Buysse, 2013), las alteraciones de apetito, ingesta de comida a horas diversas y su impacto en salud (McHill et al., 2022) que desde inicios de este siglo ya hacía ver la OIT (Organización Internacional del Trabajo), incluso colocando el tema de asociación a cáncer (Costa, 2003) como también el impacto en salud mental (Drake et al., 2004).

El modelo de priorización de SA en tres pilares se puede visualizar (en parte) en la figura 5.

Figura 5. Representación gráfica de modelo de 3 pilares de Shiftwork Assessment.



Descripción de aplicación

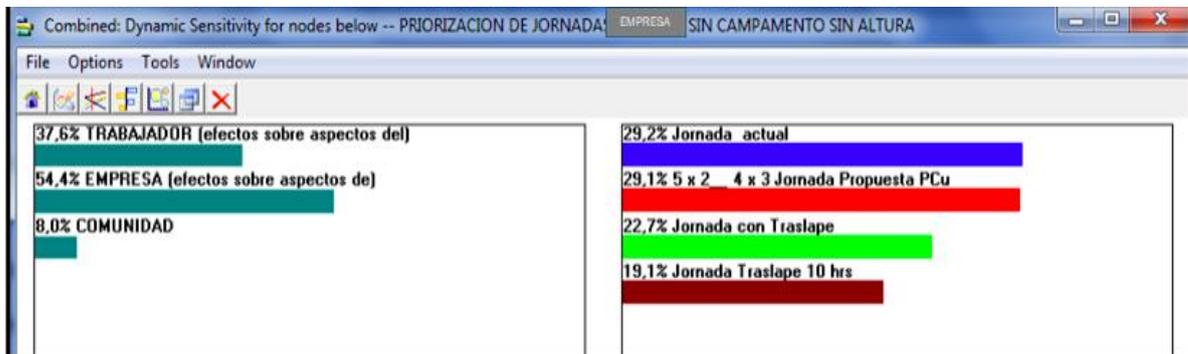
En acuerdo con las empresas y sindicatos se evalúan los turnos actuales y nuevos turnos propuestos por la empresa y por los trabajadores, y según su impacto en 3 pilares (trabajador, empresa y comunidad) se ordenan cardinalmente para su elección y posterior implementación.

En cada empresa, se realizó capacitación de 2 horas en ritmos biológicos a los trabajadores y administración, luego se continuó con las evaluaciones de importancia de sus intereses. Cada uno de los participantes en forma individual, tomó su decisión respecto de la importancia de criterios generales, de primer, segundo y tercer orden de la jerarquía del modelo, nunca se pronunció en forma directa sobre los turnos. Las comparaciones siempre fueron hechas en pares de criterios, en matrices de doble entrada, positivas y recíprocas. Las respuestas fueron evaluadas en términos de consistencia (se aceptó una inconsistencia máxima del 10% en cada participante).

Los criterios de primer orden eran la importancia que tenían los aspectos de interés para el trabajador, la empresa y la comunidad. Estos últimos, fueron representados por habitantes del lugar donde estaba el lugar de trabajo (ej. en minería: representantes de la ciudad de Calama, en mina Chuquicamata). Las jerarquías en el modelo van desde las de primer orden socio-culturales-políticas, hasta las de menor orden que son de tipo técnicas asociadas a los indicadores de los sistemas de turnos.

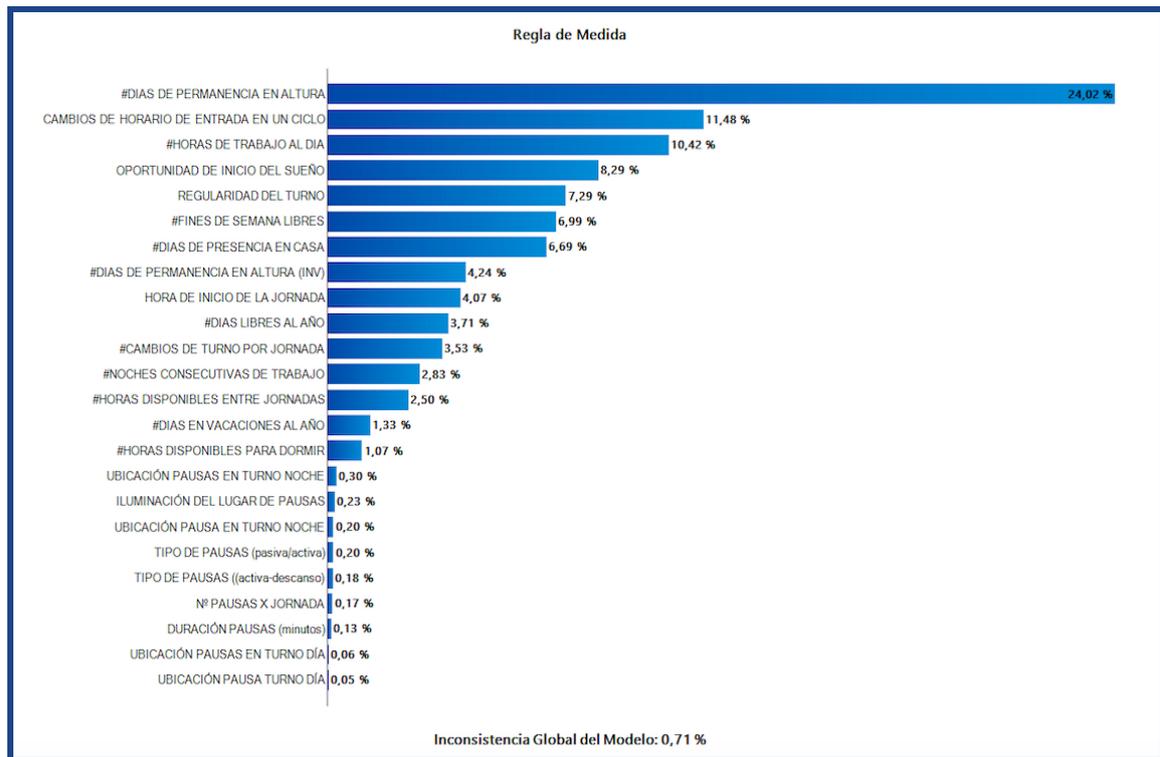
Determinación de los pesos estratégicos y su efecto en la evaluación de las jornadas. En la figura 6 se observan los pilares estratégicos de decisión.

Figura 6. Pilares estratégicos. Valoración porcentual en la decisión.



En la figura 7 se muestran la regla de medida o pesos de cada criterio en la totalidad de la decisión. Los indicadores conforman la regla de medida con una inconsistencia global de 0,71% (99,29% de consistencia), para un ejemplo particular correspondiente al caso “Campamento en Altitud”.

Figura 7. Regla de medida.



La regla de medida si bien contiene los criterios de decisión (indicadores) para todos los sistemas de turnos de un tipo, en este ejemplo un caso de campamento con altura), es particular (customizado) en cuanto a los pesos de cada criterio pues responde a los intereses y percepciones de una empresa determinada.

SA permite la elección de escenarios de aplicación y sus combinaciones. Estos son:

- Con o sin altura geográfica.
- Con o sin campamento.
- Urbano o rural.

Así, se puede representar (customizar) la aplicación del modelo SA a prácticamente cualquier situación según la realidad de cada empresa.

Resultados y discusión

Se aplicó SA en 15 empresas (7 minería, 5 distribución eléctrica, 2 hidrocarburos, 1 vitivinícola), abarcando un impacto a 40.000 trabajadores.

Los resultados de la aplicación de SA fueron:

1. Solución de los conflictos entre empresa y sindicatos por el sistema de turnos, llegando a un turno de consenso en el 100% de los casos.

2. Identificación de las áreas de mayor impacto y planteamiento de soluciones de mitigación.
3. Seguimiento e implementación de la solución a los 2 años en gran minería, muestran: aumento de productividad (2%) (5 mil ton. Cu/A), mejor rendimiento de equipamiento de 74 a 79% en transporte camiones y de 10 a 15% en palas, reducción de accidentes del 3,2 a 0,9%, disminución de incidentes en equipos del 8,5% a 3,3 %, y mejoramiento clima laboral del 70 a 74%.
4. SA se adopta como el estándar de evaluación de turnos de la principal empresa productora de cobre en Chile.
5. Decisión basada en métrica cardinal (escala proporcional absoluta).
6. Umbral de tolerancia calculados analíticamente.
7. Aporta al cumplimiento de 9 de los 17 objetivos de desarrollo sostenible.
8. Seguimiento a 8 años: las empresas mantienen turno escogido, no siendo este motivo de conflicto laboral.

Conclusiones

SA es una herramienta que permite encontrar soluciones a los sistemas de turnos, en forma participativa, amplia en relación a los temas que considera, logrando una solución estable debido a la participación informada de las partes.

Las soluciones de turnos logradas por SA aportan beneficios en un amplio campo de la relación empresa – trabajador – comunidad.

La investigación en este campo ha avanzado mucho en estos 30 años y requiere de herramientas flexibles (adecuables a la realidad de cada empresa) y actualizadas en sus procedimientos, tanto en lo científico definido en sus axiomas, determinación de la medida (regla de medida cardinal), representatividad, escalas, estándares y umbrales, como en lo cultural.

La integración de estas dos vertientes (científica y cultural) entregan como resultado el sistema SA (Shiftwork Assessment), un sistema flexible y customizable para la evaluación de los sistemas de turnos.

Referencias

- Buxton, O. M., Cain, S. W., O'Connor, S. P., Porter, J. H., Duffy, J. F., Wang, W., Czeisler, C. A., & Shea, S. A. (2012). Adverse metabolic consequences in humans of prolonged sleep restriction combined with circadian disruption. *Science Translational Medicine*, 4(129), 129ra43. <https://doi.org/10.1126/scitranslmed.3003200>
- Buxton, O. M., & Marcelli, E. (2010). Short and long sleep are positively associated with obesity, diabetes, hypertension, and cardiovascular disease among adults in the United States. *Social Science & Medicine* (1982), 71(5), 1027–1036. <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2010.05.041>
- Costa, G. (2003). Shift work and occupational medicine: an overview. *Occupational Medicine (Oxford, England)*, 53(2), 83–88. <https://doi.org/10.1093/occmed/kgq045>
- Drake, C. L., Roehrs, T., Richardson, G., Walsh, J. K., & Roth, T. (2004). Shift work sleep disorder: prevalence and consequences beyond that of symptomatic day workers. *Sleep*, 27(8), 1453–1462. <https://doi.org/10.1093/sleep/27.8.1453>
- Gale, J. E., Cox, H. I., Qian, J., Block, G. D., Colwell, C. S., & Matveyenko, A. V. (2011). Disruption of circadian rhythms accelerates development of diabetes through pancreatic beta-cell loss and dysfunction. *Journal of Biological Rhythms*, 26(5), 423–433. <https://doi.org/10.1177/0748730411416341>
- Gärtner, J., Rosa, R. R., Roach, G., Kubo, T., & Takahashi, M. (2019). Working Time Society consensus statements: Regulatory approaches to reduce risks associated with shift work—a global comparison. *Industrial Health*, 57(2), 245–263. <https://doi.org/10.2486/indhealth.SW-7>
- Garuti, C. (2017). Reflections on scales from measurements, not measurements from scales. *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, 9(3). <https://doi.org/10.13033/ijahp.v9i3.522>
- Garuti, C. (2021a). Artificial intelligence (AI) and ethical artificial intelligence (EAI): Medical decision support system, medical sapiens (MS). *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, 13(2). <https://doi.org/10.13033/ijahp.v13i2.896>
- Garuti, C. (2021b). How to obtain a global reference threshold in AHP/ANP. *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, 13(1). <https://doi.org/10.13033/ijahp.v13i1.802>
- Garuti, C., & Sandoval, M. (2006). The AHP: A multicriteria decision making methodology for shiftwork prioritizing. *Journal of Systems Science and Systems Engineering* 15(2), 189–200. <https://doi.org/10.1007/s11518-006-5007-5>
- Mayeuf-Louchart, A., Zecchin, M., Staels, B., & Duez, H. (2017). Circadian control of metabolism and pathological consequences of clock perturbations. *Biochimie*, 143, 42–50. <https://doi.org/10.1016/j.biochi.2017.07.017>
- McHill, A. W., Hull, J. T., & Klerman, E. B. (2022). Chronic Circadian Disruption and Sleep Restriction Influence Subjective Hunger, Appetite, and Food Preference. *Nutrients*, 14(9), 1800. <https://doi.org/10.3390/nu14091800>
- Monk, T. H., & Buysse, D. J. (2013). Exposure to shift work as a risk factor for diabetes. *Journal of Biological Rhythms*, 28(5), 356–359. <https://doi.org/10.1177/0748730413506557>
- Russel, B., & Whitehead, A. (1912). *Principia Mathematica*. Cambridge University Press.
- Saaty, T. (2004). *Scales from measurement not measurement from scales!* Proceedings of the 17th MCDM Conference.
- Schönfelder, E., & Knauth, P. (1993). A procedure to assess shift systems based on ergonomic criteria. *Ergonomics*, 36(1–3), 65–76. <https://doi.org/10.1080/00140139308967856>