



DOCTORADO EN VALUACIÓN

MÉTODOS MATEMÁTICOS APLICADOS A VALORACIÓN

**ANÁLISIS FODA DE MÉTODOS MATEMÁTICOS APLICADOS A
VALUACIÓN Y PROPUESTAS TÉCNICAS- METODOLÓGICAS PARA
MEJORAR SU APLICACIÓN Y OBJETIVIDAD**

KASIAN VALENZUELA SÁNCHEZ

CULIACÁN SIN., A 11 DE OCTUBRE 2025

I. INTRODUCCIÓN

La valuación como ciencia, técnica o arte pretende encontrar las relaciones de causalidad entre los criterios de valor y el objetivo sujeto a valoración, este proceso no es determinístico, sino más bien estocástico.

El comportamiento humano en sociedad es complejo, la percepción y la construcción de las realidades percibidas está condicionada a un sinnúmero de elementos, a los que podemos mencionar como la matriz existencial del orden social establecido.

La conducta y condicionamiento individual, depende del colectivo social, tal como una serie de normas, valores, idiosincrasia, cultura, religión, lenguaje, siendo el sistema económico en mayor ponderación el factor más determinante, de las relaciones intrínsecas de representación del paradigma del valor socialmente dominante y hegemónico.

Por ello, definir ecuaciones matemáticas exactas para determinar y predecir un valor de un objeto, bien o servicio, es un ejercicio un tanto utópico. Sin embargo los modelos matemáticos, para ajustar estas condiciones de variabilidad aleatoria, inexacta de las ecuaciones de valor, se ajustan los modelos introduciendo variables estocásticas para representar en ellos todas las variables explicadoras del valor que el modelo matemático no puede establecer como variable explicativas de la ecuación de valor.

$$Y = B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2 + \dots + B_n X_n + U_i$$

Desde u_i representa todos los elementos que el modelo matemático no puede explicar, predecir y cuantificar causalmente.

La parte inicial de todo método de valuación, es definir las variables explicadoras del valor del objeto sujeto a valoración, es encontrar la ecuación de valor que mejor represente matemáticamente la variable dependiente, como lo comentamos anteriormente este proceso es una construcción del imaginario colectivo, no es una formación individual, por ello los métodos de valuación que aplican un criterio personal del valuador carecen de rigor científico para representar y encontrar las relaciones subrepticias, encrucijadas en la red compleja de la matriz social, la cual es una dialéctica histórica de las formaciones económicas y sociales, mismos que constituyen el paradigma de valor socialmente aceptado, normado, y condicionado por el sistema económico.

El encontrar la función de valor y las variables criterios de valor, es el punto nodal de la valuación como ciencia social, a través de los modelos matemáticos desarrollados por los algoritmos, esta función de valor se convierte en una ecuación de valor.

La dialéctica histórica de las formaciones económicas y sociales, constituyen a dinámica del paradigma social del valor, el modo de producción, en esencia la propiedad de los medios de producción y la distribución de la riqueza por el sistema económico determina en grado sumo el comportamiento y el paradigma del valor social de las cosas, bienes, servicios, tangibles e intangibles.

La senda planteada en este trabajo de análisis y propuestas metodológicas en la aplicación de los modelos matemáticos a la valoración, es hacer un análisis FODA de los diferentes métodos, el planteamiento es aportar mejoras a los mismos.

El objetivo es plantear algunas propuestas metodológicas y técnicas a los métodos de econometría lineal, programación por metas, y proceso analítico jerárquico, en el entendido que la razón de ser de este trabajo en contribuir en el desarrollo de mejoras continuas para el avance de la frontera de la ciencia valuatoria, al reducir la subjetividad individual del valuator, consolidando la fabricación de sistemas de valor objetivos, formulando criterios de valor que nos conduzcan a ecuaciones de valor correctas, y científicamente sustentadas.

En última estancia, presento algunos casos a los que podemos aplicar estas mejoras y vislumbrar la posibilidad de imaginar un sistema de ecuaciones de valor para toda la matriz del valor objetos-valor, algo así como una matriz insumo- producto, para toda la economía y sociedad en su conjunto, un sistema de ecuaciones para todo el sistema económico nacional o global.

II. ANÁLISIS FODA DE MÉTODOS MATEMÁTICOS APLICADOS A VALORACIÓN.

II.1 ECONOMETRÍA LINEAL

Este método matemático es a mi mejor saber y entendimiento el más objetivo, preciso, para resolver las variables explicativas de un objeto a valorar, debido a que se construye estadísticamente, reduciendo al mínimo la subjetividad del valuador. La parte medular e importante de este método, es el planteamiento de la función de valor, de las relaciones entre las variables explicativas y su significancia estadística para calcular los mejores estimadores lineales insesgados para la ecuación de valor del objeto-sujeto a valoración.

El método científico reside en la teoría del comportamiento social, bagaje del conocimiento que confluye en las corrientes profundas del saber y experiencia que trasciende las generaciones, y nos permite encontrar las funciones explicativas de los fenómenos naturales y sociales.

La valoración es por principio una ciencia social, que se nutre de las ciencias sociales como la economía, historia, psicología, sociología, administración, filosofía, etc.

El dilucidar estas funciones de valor es un proceso de ensayo y error, de hacer distintas hipótesis de investigación hasta encontrar los criterios de valor que mejor expliquen las relaciones de causalidad, sin el menos cabo que este proceso es continuo, por estar supeditado a una dinámica cambiante, que se requiere ir ajustando gradualmente los modelos matemáticos a los comportamientos de la sociedad.

La econometría, parte de una función de valor, que ha de convertirse en una ecuación de valor, a través de un diseño muestral, donde se establece el tamaño de la muestra, el tipo de muestreo aleatorio en sus diferentes variables, siendo el muestreo aleatorio estratificado, el más apto a implementarse en la valoración, y a través del método de mínimos cuadrados ordinarios, definimos la mejor ecuación de ajuste a la información muestral alimentada al método matemático, pudiendo inferir que los valores de los comparables muestrales, son una representación de los valores poblacionales por el “TEOREMA DEL LÍMITE CENTRAL”, el cual es el puente que hace posible la inferencia estadística de muestras sobre toda una población.

Una limitante de este método es que es costoso en tiempo y dinero obtener muestras que cumplan con todo el protocolo estadístico, para que se logren las condiciones del teorema del límite central (TLC), sin lo cual, el obtener muestras no representativas de la población nulifican la precisión científica de este método matemático estadístico, aquí reside una área de oportunidad para avanzar en la integración de sistemas de bases de datos de valoración estadísticas públicas y privadas, cooperación institucional, gobierno, academia, colegios profesionales e iniciativas no gubernamentales y las empresas para la formación y desarrollo de información estratégica del valor en México, que nos permita la aplicación de métodos estadísticos a menor costo y con mejores resultados de precisión y objetividad científica valuatoria.

II.1.1 MATRIX FODA: ECONOMETRÍA

<p>FORTALEZAS</p> <ul style="list-style-type: none"> *Método científico estadístico *MELI. Mejores estimadores lineales insegados para establecer la ecuación de valor. *A través MMCO reducimos u_i 	<p>OPORTUNIDADES</p> <ul style="list-style-type: none"> *sistemas de información estratégica de valuación. *Big Data *Colaboración institucional
<p>DEBILIDADES</p> <ul style="list-style-type: none"> *Costoso en tiempo y dinero *Tamaño de muestras grandes 	<p>AMENAZAS</p> <ul style="list-style-type: none"> *Muestreo que no cumpla con T.L.C *Escala arbitrarias para convertir variables cualitativas a cuantitativas

II.2 PROGRAMACIÓN POR METAS

Este método es matemáticamente el planteamiento de un sistema de ecuaciones lineales, resuelto mediante el algoritmo simplex, que optimiza la función objetivo, sujeto a ciertas ecuaciones restrictivas, cuyo primer resultado inicial al modelo de la matriz simplex, es aquel donde las variables explicadoras del valor toman un valor de cero, y por tanto la función objetivo es igual a la suma de todos los valores de los comparables, siendo este resultado el menos óptimo, de ahí parte el algoritmo, mediante operaciones de reducción por renglones iniciando en la intersección de la columna y renglón pivote, hasta lograr obtener los valores de los criterios de valor que minimicen la función objetivo, el método consiste en encontrar el valor de los criterios de valor que hacen el resultado que minimiza el valor de las diferencias del valor absoluto de la función objetivo.

Podemos afirmar sin temor a equivocarme que este método matemático es preciso y exacto con la condición que el método genera un resultado óptimo en función del sistema de ecuaciones restrictivas planteadas, si se hace las preguntas correctas el sistema genera respuestas correctas, y viceversa.

Así podemos decir si al método le suministramos criterios de valor y comparables no representativos de la población objeto de valoración, y además los criterios de valor no son sustentados en un marco teórico y evidencia científica que representan las relaciones de causalidad, para explicar la variable dependiente, el sistema de ecuaciones va a generar un resultado de poca utilidad valuatoria.

Si partimos de una función de valor, no validada por modelos econométricos, el sistema va a generar un resultado óptimo para el sistema de ecuaciones planteados, dados los elementos que constituyen las ecuaciones restrictivas, en la función de valor que determina los criterios de valor, y la muestra de los comparables que determina los parámetros de la función de valor, para convertir dicha función de valor en ecuaciones de valor, esto no significa que el resultado que genera el algoritmo simplex sean valores de los criterios de valor que sean fiables, estadísticamente significativas y por tanto el resultados no tiene validez para representar la relación de causalidad de valor de objeto a valoración.

El razonamiento, es que el algoritmo simplex siempre optimiza la función objetivo, dadas las ecuaciones de restricción, esto no significa , que las ecuaciones resultantes del valor del sujeto a valoración, sea cierta para expresar científicamente, objetivamente el valor de una cosa o servicio, ya que un planteamiento matemático erróneo, sin sustento estadístico para los criterios de valor, y una muestra no representativa de la población, dará evidentemente resultados erróneos, inútiles, subjetivos fincados en el criterio personal del valuador, y la ciencia no es un asunto de criterios y apreciaciones personales.

Podemos afirmar este colorario para aclarar la idea:

“Todo sistema al que alimentas información no válidas, consistente, científicamente validada, tendrás como resultado del proceso de esta información de reportes de salida de información no relevante y carente de utilidad para el desarrollo del conocimiento científico.

“Si al sistema lo alimentas con basura genera inexorablemente basura”



Las áreas de oportunidad para este método están en el hecho de hacer un enfoque complementario con la econometría, debido a que es importante que la función de valor que define los criterios de valor que son utilizados para construir las ecuaciones de valor de las restricciones del modelo, sean criterios validados por modelos econométricos, en los cuales si es posible establecer la relación de causalidad entre la variable explicada y los criterios de valor, mediante hipótesis estadísticas validadas de significancia de la correlación que existe entre las variables explicadoras y el bien sujeto a valoración.

Antes de aplicar el método de programación por metas, debemos validar la función de valor, mediante modelos econométricos los cuales nos permitan establecer las ecuaciones restrictivas de valor de método de programación por metas, comprobadas estadísticamente, debido a que la econometría nos permite definir en base al marco teórico y la experiencia de la dinámica del ensayo y error, donde queda definido la función de valor objetivo, que la relación de causalidad entre las variables independientes y la dependiente es cierta, fiable y científicamente comprobada.

Podemos utilizar el acervo teórico y práctico de la econometría para establecer la función de valor que ha de utilizarse en el método de programación por metas y aplicar este método con la economía de tiempo y dinero, que el mismo tiene esta ventaja sobre la econometría, ya que una vez que hemos establecido la función de valor mediante los métodos econométricos, hemos superado el principal obstáculo en el planteamiento de la función de valor correcta y la elección de los comparables y por tanto su factibilidad y validación científica.

Los costos, hace de este método más eficiente que la econometría para la praxis diaria, ya enunciadas con antelación las dificultades en el análisis FODA de la econometría que son principalmente los costos-tiempo, escasez de información sistematizada por fuentes secundarias, base de datos y además que su aplicación requiere muchos comparables, podemos una vez establecidos los fundamentos de los criterios de valor en los modelos econométricos, aplicar el método de programación por metas, utilizando estos criterios de valor para definir las ecuaciones restrictivas del modelo con un sustento científico. La idea es hacer un método mixto de econometría y programación por metas, donde el principio aporta la base estadística para definir los criterios de valor que son estadísticamente significativos y consistentes, para elaborar las ecuaciones explicativas del valor, que en la programación por metas son las ecuaciones restrictivas del modelamiento que tiene una función objetivo Z .

La ventaja de esta sinergia de métodos es que en la programación lineal solamente ocupamos 30 comparables, debido a que los criterios de valor ya están validados por la econometría, así la certidumbre de la función de valor que se ha de utilizar y por ende los criterios de valor en las ecuaciones de restricción con el consabido hecho que de esta manera de conjuntarlos dos métodos, solamente ocupamos una muestra de 30 comparables independientemente del número de variables explicativas del valor, que tenga el modelo, hecho que contrasta con el método econométrico puro, donde para cada criterio el valor es necesario 30 comparables mínimo para cumplir con el “TEOREMA DE LÍMITE CENTRAL”, en cambio en la programación por metas solo ocupamos 30 comparables en la condición sine qua non que partimos de un modelo mixto econométrico-programación por metas, donde ya tenemos una función de valor validada científicamente para utilizarla en la construcción del sistema de ecuaciones de la programación por metas.

Quiero puntualizar otro factor a considerar al utilizar la programación por metas para valoración, este método no es recomendable para muestras de comparables no homogéneas, debido

a que el modelo cuando se utilizan comparables no tan comparables, a los criterios donde existe mucha varianza de valor en los comparables en función de ese criterio, el algoritmo da como resultado para esos criterios valores cercanos a cero, e incluso cero, ya como explicamos la lógica del algoritmo es minimizar las diferencias y ahí donde hay mayor varianza en la información de los criterios, el algoritmo los pondera en menor cuantía, porque de esta manera se cumple la función objetivo, lo cual no tiene lógica desde el punto de vista de la valoración, que resulte un criterio cierto con un valor resultante de cero.

Para demostrar este factor, imaginemos que estamos haciendo una valuación de una propiedad raíz, y que la variable M^2C tenga una varianza muestral muy grande y que el otro criterio utilizado sea número de baños y para este criterio tengamos una muestra con un rango mínimo que vaya de 1 a 3, al correr el modelo de programación por metas el algoritmo le va a dar mayor ponderación a número de baños que a los M^2C , para así cumplir con la función objetivo de minimizar las diferencias de todas las ecuaciones del sistema planteado, lo que bien sabemos no tiene lógica y razón de valor, por tanto este método solo es recomendable para valuación de comparables homogéneas.

Otro elemento, a considerar, es el referente a la ponderación de las variables cualitativas, más adelante en este trabajo en el capítulo III, presentare principios metodológicos para convertir variables cualitativas a cuantitativas, metodología válida y aplicable a la econometría, la programación por metas y al proceso analítico jerárquico.

En conclusión del análisis de la valuación por medio de la programación por metas, que habiendo evidencia científica de bases para establecer la función de valor, las variables explicadoras ya comprobadas estadísticamente, podemos utilizar la valuación por el método de programación por metas para reducir los costos y tiempos en la valoración rutinaria, haciendo hincapié que de no contar con los estudios, marco teórico y evidencia estadística, que definan los criterios de valor explicatorios del sujeto a valoración, no es recomendable utilizar este método, en el mismo sentido si no contamos con comparables homogéneas

II.2.1. MATRIX FODA: PROGRAMACIÓN POR METAS

<p style="text-align: center;">FORTALEZAS</p> <p>*Exacto y preciso si las restricciones son ciertas.</p> <p>*Tamaño de muestra de 30 elementos comparables</p> <p>*Reduce costos y tiempos su aplicación</p>	<p style="text-align: center;">OPORTUNIDADES</p> <p>*Se puede apoyar en la econometría para definir las variables criterio de valor</p>
<p style="text-align: center;">DEBILIDADES</p> <p>*Recomendable solo para comparables homogéneos</p>	<p style="text-align: center;">AMENAZAS</p> <p>*Escala arbitrarias, subjetivas para convertir variables cualitativas a cuantitativas</p> <p>*Modelación con criterios sin sustento científico-estadístico.</p>

II.3. PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO

Este método, consiste fundamentalmente en un método de ponderaciones sucesivas, se presuponen los criterios de valor, se ponderan mediante escalas de Saaty, en segundo término la elección de los comparables en función de los criterios de valor y su consabida ponderación en función de los criterios de valor también con la herramienta metodológica de escalas de Saaty para las variables cualitativas, para así obtener mediante la multiplicación de la matriz de ponderación de los comparables más el sujeto de valoración $[(nCi + 1) \ (nCi)]$ por el vector propio $[(nCi \times 1)]$ de ponderación de los criterios de valor, obteniendo así el vector propio global de valor y resolviendo una regla de tres (RATIO DE VALOR) encontramos el valor del sujeto a valuación.

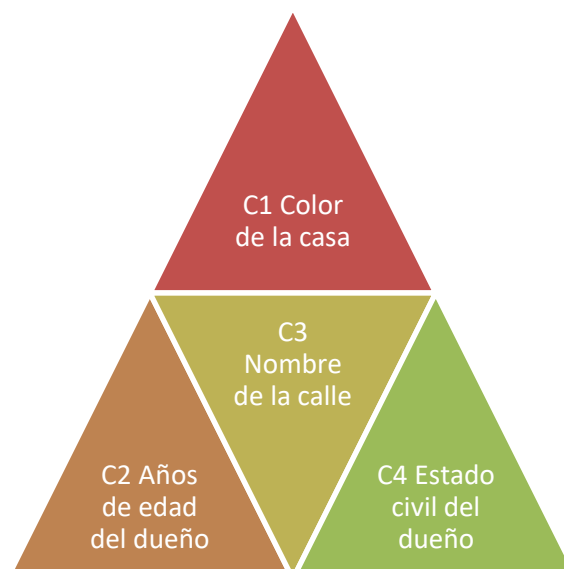
El proceso se lleva metodológicamente para que la ponderación sea consistente dada que si existen n variables o n comparables, la suma de las ponderaciones en él no sea mayor a n , a través de cálculos de vectores propios si la suma de los mismos es mayor a $[n]$ se determina el ratio de consistencia, para comprobar si la matriz pareada es consistente de tal suerte la suma de los vectores de la matriz no sea significativamente muy superior al valor de $[n]$.

Más adelante presentare un método alternativo para el proceso analítico jerárquico con vectores propios pareados, donde la suma de los mismos siempre es igual a n vectores propios y por tanto la consistencia es perfecta y podamos obviar el mecanismo del cálculo del ratio de consistencia.

El Proceso Analítico Jerárquico, es un método matemáticamente preciso, concreto y eficiente, sin embargo esto no significa que la valoración que arroje como resultado sea cierta, fiable y científicamente válida, por el hecho que el proceso está condicionado a los criterios de valor elegidos por el valuator, su ponderación personal de los mismos, la selección de los comparables y su respectiva ponderación del mismo modo personalista subjetivo, por tanto el resultado de la valoración es en sí mismo un proceso arbitrario, individualista, subjetivo, carente de rigor científico por el hecho mismo de la ponderación, ya que la realidad de la ponderación es una construcción del imaginario social colectivo, no reduccionista de un criterio individual sesgado, subjetivo y parcial.

A manera de clarificar estas ideas y proposiciones, supongamos que evaluamos una vivienda, con los siguientes criterios de valor, por así lo determinamos por nuestra creencia, gustos y decisión personal.

Criterios



Hago todos los pasos del método de valoración por proceso analítico jerárquico, indiscutiblemente voy a obtener un resultado, sin embargo el mismo es un resultado carente de sentido lógico y utilidad debido a que el método proceso información no válida científicamente, por consecuencia el resultado del método tampoco lo es, cómo es la ley de Causa y Efecto, preguntas erróneas, respuestas erróneas.

Esto es producto no por el método en el sí mismo, sino más bien por la elección y ponderación de los criterios de valor, por la elección de los comparables y la ponderación correspondiente de estos en función de los criterios de evaluar supuestos en el modelo.

Cómo lo comentamos en el análisis de la programación por metas, no es el método, es la definición de la función de valor lo que determina la validez de la información resultante que determina todo el proceso matemático. Sí tenemos una función de valor, ya validada estadísticamente, un marco teórico robusto que la respalde, podemos establecer criterios de valor estadísticamente significativos, y que el resultado esperado de los métodos matemáticos aplicados a la valoración, sean ciertos, fiables, consistentes y de utilidad. Es fundamental la estadística como la teoría del comportamiento humano y social, el paradigma científico como la cimentación de los modelos de valoración matemática.

Podemos establecer este axioma: "Si al proceso le suministramos criterios, comparables y sus respectivas ponderaciones estadísticamente ciertas. Cómo podemos inferir que obtendremos valoración cierta, validada y de utilidad, en caso contrario, el resultado sería el diametralmente opuesto. "

En el siguiente capítulo de este trabajo, presenta algunas ideas y métodos alternativos que se complementan con el proceso analítico jerárquico, con el objetivo de mejorar la elección de Los criterios de valor, los comparables y la ponderación respectiva, para lograr mayor objetividad y validez estadística y científica al método matemático como instrumento para la práctica de la valoración.

II.3.1 ANÁLISIS FODA: PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO

<p>FORTALEZAS</p> <ul style="list-style-type: none"> *Reduce costos y tiempos *Se puede utilizar para comparables heterogéneos *Aplicarle a criterios de valor cualitativos 	<p>OPORTUNIDADES</p> <ul style="list-style-type: none"> *Se puede apoyar en la econometría para definir las variables explicadoras. *Se puede hacer un proceso muestral aleatorio estratificado para definir los criterios de valor *Proceso muestral aleatorio estratificado para ponderar las variables cualitativas
<p>DEBILIDADES</p> <ul style="list-style-type: none"> *Ponderación subjetiva 	<p>AMENAZAS</p> <ul style="list-style-type: none"> *Escala arbitrarias para convertir variables cualitativas a cuantitativas *Modelación de criterio de valor sin sustento estadístico

III. MÉTODOS ALTERNATIVOS PARA MEJORAS SUSTANTIVAS PARA LOS MÉTODOS BÁSICOS DE ECONOMETRÍA, PROGRAMACIÓN POR METAS Y PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO.

III. 1. MÉTODO ESTADÍSTICO PARA DEFINIR LOS CRITERIOS DE VALOR.

Si el campo del conocimiento de la valuación es tal que contamos con un marco teórico y evidencia estadística de las relaciones de causalidad entre variable dependiente y las variables explicadoras independientes, podemos hacer uso de estas funciones de valor para implementarlas como base del modelo matemático para pronosticar, explicar y determinar el valor de un bien o un servicio objeto de la valoración, de esta manera contamos con la certeza de los criterios de valor para la construcción del modelo matemático en los diferentes enfoques metodológicos son ciertos, fiables y estadísticamente significativos, con el consecuente resultado lógico de veracidad en el planteamiento de los modelos matemáticos, ya sean por econometría, programación por metas y proceso analítico jerárquico.

Sí partimos de criterios de valor ciertos, buena parte del resultado está determinado a ser objetivo y realista.

En la búsqueda de este objetivo, presenta un método complementario, del instrumental disponible por la estadística inferencial, a los modelos matemáticos de valuación, en el supuesto caso que no se cuente con una función de valor existente en el estado de arte de la valoración del objeto- sujeto como parámetro de valor.

III.1.1. MÉTODO PARA DETERMINAR LOS CRITERIOS DE VALOR POR MUESTREO ALEATORIO ESTRATIFICADO.

Imaginemos un ejemplo hipotético para ilustrar las ideas subyacentes:

"Se nos encomienda la valuación de un caballo de carreras cuarto de milla".

Primero realizó una investigación documental por fuentes bibliográficas, revistas especializadas en caballos, y diversas fuentes secundarias, para ver si existe una función de valor demostrada científicamente que puede tomar como base para definir los criterios de valor para efectuar la valoración del caballo, debido a que es objeto de valoración muy sui generis, muy especializado,

con poca frecuencia valuatoria, no encuentro referencia para establecer los criterios de valor para llevar a cabo este avalúo. Por tanto debo encontrar el mecanismo mediante el cual puede definir de manera estadística esta función de valor.

El método sería través de una encuesta aleatoria estratificada, con un tamaño de muestra de 30 elementos, en el supuesto *ceteris paribus* que la población sigue una distribución de probabilidad normal, el tamaño mínimo de la muestra para cumplir con el teorema del límite central es de 30 entrevistas realizadas a personas expertas en caballos de carreras cuarto de milla, de ahí el término de nuestra estratificada, porque si les pregunto personas que no conocen del tema, la información recabada del muestreo será irrelevante y de poca o nula utilidad para construir la función de valor explicatoria de valor del objeto-sujeto en cuestión.

La pregunta fundamental para cada uno de los expertos en la materia sería: ¿Cuáles son los criterios que le dan valor al caballo de carreras cuarto de milla?

Este método es únicamente para definir los criterios, no para ponderarlos, más adelante veremos un método propuesto para hacerlos de manera paralela en una sola entrevista, la elección de los criterios y su ponderación en una misma entrevista a varios expertos en un mismo muestreo, donde obtengamos simultáneamente los criterios y su ponderación en una solo muestreo con k entrevistas realizadas, donde ya hemos reiterado que k sugerida es igual a 30, para cumplir con el T. L. C.

Volviendo al presente método para encontrar la función de valor, de las entrevistas obtenemos los criterios de valor que las k entrevistados nos señalaron, y con un nivel de significancia del 99% después de obtener la frecuencia relativa de los criterios, definimos como criterios de valor de nuestro modelo aquellos con una frecuencia relativa mayor o igual a 1%.

$$Y = f(C_1, C_2, C_3, \dots, C_n)$$

$$\text{Donde } f(C_i) = \frac{\sum f_{ci}}{\sum_{i=1}^n f_{ci}} \geq 0.01$$

También podemos integrar a todos los criterios independientemente de su frecuencia relativa, para tener un nivel de significancia de 100%, para cada caso particular debemos tomar la decisión en función de costo beneficio, el nivel de significancia porque mayor número de criterios represente mayor costo-tiempo, pero cuál viene siendo la relación de utilidad marginal de aumentar el número de criterios contra el costo marginal de hacerlo, así esta es una decisión que el valuador debe tomar con base en el análisis incremental. Una vez obtenidos los criterios de valor, tenemos criterios que no son arbitrarios, subjetivos y con ello aumentamos sustantivamente el estatus de ciencia de la valuación a un estadio de certidumbre y aproximando la legitimación del proceso de la valoración, como una ciencia más exacta y objetiva.

III. 2 MÉTODOS PARA CONVERTIR VARIABLES CUALITATIVAS A CUANTITATIVAS POR MUESTREO ALEATORIO ESTRATIFICADO.

Cómo lo señalamos en los análisis FODA de los métodos de econometría, programación por metas y proceso analítico jerárquico, la ponderación arbitraria de las variables cualitativas es un talón de Aquiles para todos los métodos, por ello aquí presentó estas propuestas metodológicas con la intención de mejorar la efectividad de los procesos valoratorios con modelos matemáticos.

III. 2.1 MÉTODO PARA CONVERTIR VARIABLES CUALITATIVAS A CUANTITATIVAS, UTILIZANDO MATRICES PAREADAS ALEATORIAS ESTRATIFICADAS CON ESCALAS DE SAATY

En concreto este método propuesto no es otra cosa que una ampliación al método de matrices pareadas con escalas de Saaty, con la adición que para cada variable cualitativa se realice una encuesta de aleatoria estratificada con 30 entrevistas, resultando 30 matrices pareadas con escala de Saaty, y del vector propio obtenido de cada entrevista, obtengamos 30 vectores propios, uno por entrevistado, y calculemos el vector propio promedio, el cuál sería la ponderación escalar aleatoria estratificada de la variable cualitativa. Y así continuamos con el proceso de valuación según sea el caso del método matemático que estemos instrumentando. Una característica muy importante el resultado de este método de conversión de las variables cualitativas a cuantitativas es una operación de ponderación escalar donde la variable puede tomar valores >0 y ≤ 1 , donde la suma de todas las ponderaciones siempre será igual a 1, porque este procedimiento convierte las cualidades en un vector propio de ponderaciones como escalar de conversión.

III.2.2 MÉTODO PARA CONVERTIR VARIABLES CUALITATIVAS A CUANTITATIVAS UTILIZANDO VECTORES PROPIOS PAREADOS ALEATORIOS ESTRATIFICADOS

Para exponer este método, sigamos con el ejemplo de valoración de un caballo de carreras cuarto de milla, y supongamos que existe una función de valor establecida, ya sea por evidencia estadística o por aplicación del muestreo aleatorio estratificado, conceptos desarrollados anteriormente en este trabajo, particularmente en el subcapítulo III.1

Así tenemos hipotéticamente la siguiente función de valor

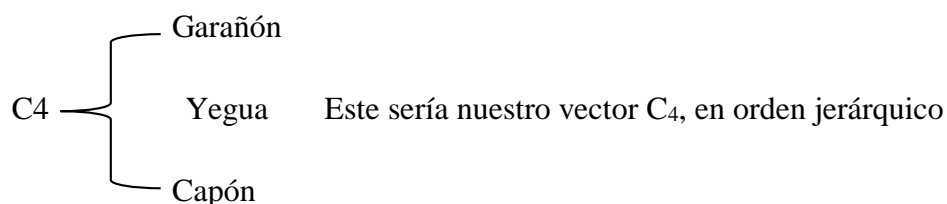
Valor de caballo de carreras :	}	C1 velocidad
Cuarto de milla		C2 edad
		C3 record ganador
		C4 condición reproductiva.

Donde los criterios C_1 , C_2 , C_3 son variables numéricas y C_4 es una variable cualitativa, entonces debemos de convertir C_4 a valores cuantitativos, utilizando el método al que le he dado por llamar vectores propios pareados aleatorios estratificados.

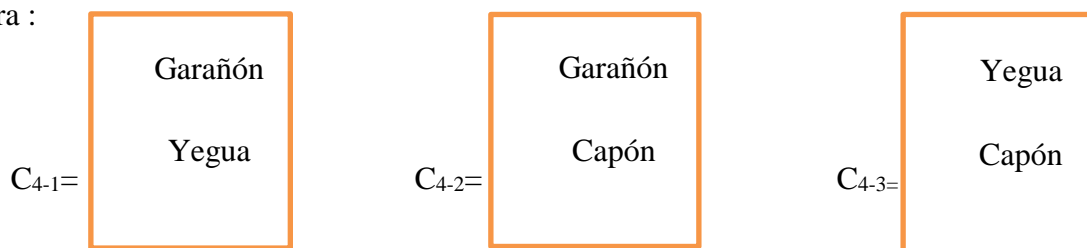
El primer paso es calcular y definir el número de vectores propios pareados posibles de las categorías diferentes que toma la variable cuantitativa, mediante método de conteo de combinaciones $(n, r) = \frac{n!}{r!(n-r)!}$, que en este método de vectores propios pareados siempre $r = 2$, por tanto la fórmula para calcular el número de diferentes vectores propios pareados posibles puede expresarse de manera más sencilla como: $(n, 2) = \frac{(n)(n-1)(n-2)!}{(2 \times 1)(n-2)!} = \frac{n(n-1)}{2}$

Volvamos a nuestro ejemplo como las categorías de C_4 son Garañón, Capón y Yegua., Aplicando la fórmula de combinaciones para determinar el para el número de vectores propios pareados posibles, tenemos que: $(3, 2) = \frac{3 \cdot 2}{2} = 3$

Una vez calculado el número de posibles vectores de propias pareados, es menester que la primera pregunta a los entrevistados sea cuál es para ellos el orden jerárquico de las cualidades, para así determinar el orden previo para definir la formación de los vectores propios pareados. Supongamos que el siguiente orden previo que el entrevistado define:



Así usando este orden jerárquico, podemos definir los vectores propios pareados de esta manera :



Esto lo hacemos para evitar errores de secuencia, más no así de distancia que este método son nulos e inexistentes, porque los vectores propios pareados siempre la suma de las ponderaciones de la dos categorías es igual a 1. Ahora bien lo que sigue es asignarle una ponderación a los tres vectores propios pareados, al entrevistado se le pregunta cuál es la ponderación de los arreglos vectoriales propios pareados, este proceso se repite 30 veces, entrevistas realizadas a 30 personas conocedoras del tema en cuestión sujeto a valoración, que en nuestro ejemplo, personas expertas en caballos de carreras cuarto de milla.

Entrevistas

$$K_1 \quad C_{4-1,1} \begin{matrix} 0.60 \\ 0.40 \end{matrix}, \quad C_{4-2,1} \begin{matrix} 0.75 \\ 0.30 \end{matrix}, \quad C_{4-3,1} \begin{matrix} 0.65 \\ 0.35 \end{matrix}$$

$$K_2 \dots\dots\dots$$

$$K_3 \dots\dots\dots$$

$$K_{30} \quad C_{4-1,30} \begin{matrix} 0.62 \\ 0.38 \end{matrix}, \quad C_{4-2,30} \begin{matrix} 0.70 \\ 0.30 \end{matrix}, \quad C_{4-3,30} \begin{matrix} 0.68 \\ 0.32 \end{matrix}$$

Así obtenemos 90 vectores propios pareados 3 por cada entrevista.

$$V_k = (n, 2) = \left(\frac{(n)(n-1)}{2} \right) \times k.$$

Donde k es el número de entrevistas a expertos, que manteniendo la congruencia metodológica estadística, recomendamos que k sea igual a 30 para cumplir con el teorema del límite central.

El siguiente paso es sumar los valores de las categorías presentes en todos los vectores propios pareados.

$$\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^v \text{Garañon} = \sum \text{valores de las ponderaciones de Garañon}$$

$$\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^v \text{Yegua} = \sum \text{valores de las ponderaciones de Yegua}$$

$$\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^v \text{Capon} = \sum \text{valores de las ponderaciones de Capon}$$

Donde:

k= número de entrevistas

v= número de vectores propios pareados por entrevista

Para explicar este cálculo supongamos que solo se practicó una sola entrevista (k=1).

$$\Sigma \text{Ponderaciones de Garañón} = 0.60 + 0.75 = 1.35$$

$$\Sigma \text{Ponderaciones de Yegua} = 0.40 + 0.65 = 1.05$$

$$\Sigma \text{Ponderaciones de Capón} = 0.25 + 0.35 = 0.60$$

$$\Sigma \Sigma = 3$$

$$\text{Ponderación de Garaanón} = \frac{1.35}{3} = 0.45$$

$$\text{Ponderación de Yegua} = \frac{1.05}{3} = 0.35$$

$$\text{Ponderación de Capón} = \frac{0.60}{3} = 0.20$$

$$\Sigma = 1$$

Así obtenemos el vector propio de ponderación del criterio C₄

$$C_4 = \begin{bmatrix} 0.45 \\ 0.35 \\ 0.20 \end{bmatrix}$$

El método propuesto es para $k = 30$, donde resultan 90 vectores propios pareados de las tres cualidades del criterio C₄

La fórmula general para la ponderación de las cualidades a través del método de vectores propios pareados sería la siguiente:

$$\text{Ponderación de la cualidad } x_i, \text{ del criterio } vt \frac{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^v \text{cualidad } xi}{\frac{(n)(n-1)}{2} k}$$

$$\text{Si decimos que los vectores pareados son } v_p = \frac{(n)(n-1)}{2},$$

Entonces podemos simplificar la formula general:

$$\text{Ponderación de la cualidad } x_i, \text{ del criterio } ci = \frac{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^v \text{cualidad } xs}{v_p k}$$

Es importante señalar que la suma de los vectores propios pareados siempre será igual a $v_p k$.

Una ventaja de este método de vectores propios pareados, es que es perfectamente consistente, el ratio de consistencia siempre es cero, por ello podemos obviar su cálculo, es además más sencillo de calcular con operaciones aritméticas fundamentales, más práctico, y sobretodo es más exacto debido a que este método es de ponderación directa donde la suma de los vectores propios pareados como su nombre lo dice son siempre unitarios, y así evitamos los errores de consistencia presentes en el método de matrices pareadas con escalas de Saaty.

Un reto que me he propuesto, es desarrollar una aplicación móvil para implementar todo el proceso de manera ágil, económica y oportuna, para contribuir el flujo del desarrollo de las técnicas, métodos aplicados a la valoración.

Espero que este método sea revisado por la comunidad académica y profesional de la valuación, lo pongo a la revisión este método propuesto por su servidor, después de meses de elucubraciones permanentes para comprender las profundidades del saber de los métodos matemáticos aplicados a la valoración.

IV. MÉTODOS ESPECIALES DEL PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO

IV. 1 PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO ESTADÍSTICO ALEATORIO ESTRATIFICADO, EN UN MUESTREO, DADA LA FUNCIÓN DE VALOR A PRIORI.

IV. 1.1 UTILIZANDO MATRICES PAREADAS CON ESCALAS DE SAATY.

Sí ya tenemos definida la función de valor

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$$

Lo siguiente es la ponderación de las variables criterio de valor, utilizando la matriz pareada con escalas de Saaty.

Por ello realizamos un muestreo aleatorio estratificado, con un tamaño de muestra igual a 30 entrevistas realizadas a personas expertas en el bien y servicio sujeto de valoración.

De cada matriz pareada ponderada con escalas de Saaty, una vez calculado del ratio de consistencia como aceptado o corregido los errores de consistencia, obtenemos un vector propio de la ponderación de los criterios de valor.

Así lo hacemos para las k entrevistas, obteniendo k vectores propios de ponderación de los criterios de valor, mismos que se promediaros para obtener el vector propio promedio de las ponderaciones de las k entrevistas practicadas y aplicar el ratio de valor o el pivote de valor según sea el caso a valoración.

Nótese algo importante que debemos remarcar en este método, es que iniciamos las entrevistas con criterios de valor definidos a priori al igual que los comparables también definidos con antelación a la realización del muestreo aleatorio estratificado, por tanto sabemos de antemano como podemos estructurar las entrevistas a los expertos con las variables criterio y las cualidades de las variables no numéricas, para obtener en un solo muestreo, la ponderación de los criterios de valor y de las cualidades de cada variable cualitativa sujeta conversión a valores cuantitativos.

IV. 1. 2 UTILIZANDO VECTORES PROPIOS PAREADOS

Al igual que en el método con matrices pareadas, hacemos un muestreo con la función de valor y las comparables ya definidas a priori, entrevistamos k personas expertas y obtenemos el vector propio de ponderación promedio de los criterios de valor y de las variables cualitativas.

Como ya los explicamos en el subcapítulo III.2.2, la adición en este caso metodológico propuesto, es su aplicación en todos los métodos matemáticos que requieren transformar variables cualitativas a cuantitativas y específicamente al Proceso Analítico Jerárquico, para establecer un sistema de ponderación de los criterios de valor y de las variables cualitativas más objetivo, en k entrevistas, donde obtengamos una representación del valor estadísticamente más imparcial, dejada de criterios personales únicos, sino más bien tomando la opinión de k expertos.

IV.2. PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO ESTADÍSTICO EN DOS MUESTREOS SUBSECUENTES CUANDO NO SE TIENE LA FUNCIÓN DE VALOR A PRIORI.

Este método es una ampliación al expuesto en el subcapítulo IV.1.3, al igual al expuesto en el III.1, donde no tenemos una función de valor a priori, de donde podamos definir los criterios de valor como partida del proceso valuatorio.

Por tanto tal como lo explicamos en el III.1, debemos a través de un muestreo aleatorio estratificado en k entrevistas, definir en primer lugar la función de valor.

El segundo muestreo aleatorio estratificado consiste como la expusimos en el capítulo IV. 1, definir la ponderación de los criterios de valor y de las calidades de las variables cualitativas en función de los criterios en k entrevistas, ya sea mediante la técnica metodológica de matrices pareadas con escalas de Saaty, o Vectores Propios Pareados de ponderación directa..

Así seguimos la ruta normal del método de Proceso Analítico Jerárquico, para calcular vector propio de factores globales, el ratio de valor, pivote de valor, y por regla de tres resolver el valor del objeto o servicio sujeto a valoración.

La idea central de este método alternativo, es que tanto la definición de los criterios de valor, y la ponderación de los mismos, conjuntamente con la conversión de las variables cualitativas a cuantitativas sea un proceso estadístico aleatorio estratificado.

Es manifiesto que cuando ya tenemos definida la función de valor a priori podemos operar todo Proceso Analítico Jerárquico con un solo muestreo de k entrevista, en cambio cuando no se cuenta con la función de valor, para iniciar el método debemos primero hacer un muestreo de aleatorio estratificado para definir los criterios de valor y otro muestro para la ponderación de los criterios de valor y de las cualidades de las variables no cuantitativas y finalmente aplicar el Proceso Analítico Jerárquico básico para determinar el valor del bien o servicio sujeto a la valoración, a continuación desarrollo una metodología que nos permite en un solo muestro definir y ponderar al mismo tiempo las cualidades correspondientes de los criterios de valor resultantes de las k en entrevistas.

IV.3. PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO ESTADISTICO ALEATORIO ESTRATIFICADO EN UN SOLO MUESTREO, CUANDO NO SE TIENE LA FUNCIÓN DE VALOR A PRIORI, CON VARIABLES RESIDUALES PONDERADAS.

Hay situaciones que dadas las condiciones de presupuesto, tiempos, disposición de personas expertas para recolectar su opinión por medio de entrevistas directas, presenciales o virtuales, nos complica la posibilidad de hacer muestreos aleatorios estratificados, pensando en ello, presento aquí un método de mi autoría para realizar simultáneamente la definición de los criterios de valor, su ponderación, economizando la ejecución del método planteado en el subcapítulo IV.2

La primera parte del método consiste en entrevistar k personas expertas para que nos den su opinión de los criterios de valor, la definición de las cualidades de los criterios de valor, su unidad de medida, sea numérica o cualitativa, su ponderación sucesiva de los criterios de valor y de las cualidades de las variables cualitativas derivadas para categorizar los criterios de valor.

Así obtenemos, k vectores propios para los criterios de valor y k vectores propios para cada una de las cualidades de las variables cualitativas. ¿Pero cómo llegamos a este resultado?

Por razones de orden de simplificación, para realizar la explicación del método supongamos que $k = 4$ entrevistas, a sabiendas que el método propuesto es para $k = 30$, para cumplir con los principios de estadísticos.

Entonces tenemos los siguientes 4 vectores:

	K_1	K_2	K_3	K_4
	V_1	V_2	V_3	V_4
C_1	0.30	0.35	0.40	0.35
C_2	0.25	0.30	0.35	X_{24}
C_3	0.20	0.15	X_{33}	0.20
C_4	0.10	X_{42}	0.05	X_{44}
C_5	X_{51}	X_{52}	0.10	X_{54}
	$\sum V_1 = 1$	$\sum V_2 = 1$	$\sum V_3 = 1$	$\sum V_4 = 1$

$$\begin{matrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \\ C_4 \\ C_5 \end{matrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ 0.30 \\ 0.25 \\ 0.20 \\ 0.10 \\ X_{51} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2 \\ 0.35 \\ 0.30 \\ 0.15 \\ X_{42} \\ X_{52} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_3 \\ 0.40 \\ 0.35 \\ X_{33} \\ 0.05 \\ 0.10 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_4 \\ 0.35 \\ X_{24} \\ 0.20 \\ X_{44} \\ X_{45} \end{bmatrix}$$

Supongamos que resultado de la entrevista k_i , nada más consideró los criterios 1, 2, 3 y que el criterio 4 lo omitió, y que la suma de las ponderaciones de los criterios considerados no sea igual a **1**, podemos decir que el criterio 4 es un criterio residual del entrevistado **1**, donde él mismo tomará el valor del residuo de **1- \sum ponderaciones de los criterios 1,2, y 3**.

En el entrevistado **2**, resultan dos variables residuales, en el entrevistado **3** una sola variable residual y en el vector **4** tenemos 2 variables residuales.

Matemáticamente esto lo representamos como sigue:

$$v_1: \quad x_{51} = 1 - \sum(x_{11} + x_{21} + x_{31} + x_{41})$$

$$x_{51} = 1 - \sum(0.30 + 0.25 + 0.20 + 0.10)$$

$$x_{51} = 1 - \sum(0.30 + 0.25 + 0.20 + 0.10)$$

$$x_{51} = 1 - 0.85$$

$$x_{51} = 0.15$$

$$v_2: \quad x_{42} + x_{52} = 1 - \sum(x_{12} + x_{22} + x_{32})$$

$$x_{42} + x_{52} = 1 - \sum(0.35 + 0.30 + 0.15)$$

$$x_{42} + x_{52} = 1 - 0.80$$

$$x_{42} + x_{52} = 0.20$$

Para resolver esta ecuación, suponemos en este método, inicialmente que todas las variables residuales son equivalentes.

$$\therefore x_{42} = x_{52}$$

$$2x_{42} = 0.20$$

$$x_{42} = 0.10$$

$$\therefore x_{52} = 0.10$$

$$v_3: \quad x_{33} = 0.10$$

$$v_4: \quad x_{24} = x_{44} = x_{54} = 0.15$$

Como observamos, le damos una ponderación igual a todas las variables residuales, omitidas por el entrevistado, pero son criterios de valor que fueron señalados por los otros entrevistados, de igual manera, esto es válido para las categorías de los criterios cualitativos, hacemos el mismo procedimiento de ponderación de las cualidades residuales, que para un entrevistado son residuales, y para el otro no lo son, la condición necesaria es que para definir las variables residuales, estas mismas no sean residuales para otros entrevistados, y por lo tanto es necesario

incluirlas en los vectores propios del entrevistado que no las consideró porque sí fueron considerados por sus homólogos expertos.

Es de esperarse si hacemos un buen muestreo aleatorio estratificado, con profesionistas que si sean expertos en la materia sujeta a valoración, que número de variables residuales de las entrevistas sea mínimo, y sin embargo esto no exime la posibilidad de ocurrir, por lo tanto aplicamos este método propuesto de mi autoría para ponderar las variables a las que he dado por llamar variables residuales.

Fijémonos en el vector de la cuarta entrevista, este experto sólo mencionó 2 criterios, y por tanto debemos completar el vector 4, con los criterios residuales del mismo que son X_{24} , X_{44} , X_{54} , para resolver esta ecuación en primera instancia he tenido que igualar la ponderación de las variables residuales del vector 4, $X_{24} = X_{44} = X_{54} = 0.15$.

La fórmula para calcular el valor promedio de las variables residuales por entrevista queda así:

$$\overline{X_{ijRVj}} = \frac{1 - \sum_{j=1}^n x_{ijR}}{rX_{ijRVj}}$$

Donde:

$\overline{X_{ijRVj}}$: valor promedio de las variables residuales del vector J

$\sum_{j=1}^n x_{ijR}$: suma de los criterios si definidos por entrevistado del vector J

n : número de criterios o cualidades del vector propio

rX_{ijRVj} = número de variables residuales del vector propio

El objetivo de las variables residuales es el hecho que todos los vectores propios de las **k entrevistas** tengan el mismo número de elementos, donde la función de las variables residuales es homogenizar los vectores propios con los mismos criterios y/o cualidades, donde **n** del vector **j** es igual a la suma de sus variables básicas y residuales, de tal suerte, que unos vectores esta composición orgánica será distinta, pero al final todos los vectores propios de las **k entrevistas** tendrán los mismos elementos.

Volviendo a nuestro ejemplo del vector **4**

$$\overline{X_{IJRVJ}} = \frac{1 - [0.35 + 0.20]}{3} = 0.15$$

Continuando con el proceso de este método de ponderación directa para **k entrevistas** con variables residuales derivadas de un muestreo aleatorio estratificado que simultáneamente define los criterios de valor, las cualidades de los criterios y a su vez pondera directamente en una escala de > 0 y ≤ 1 , los criterios y sus cualidades.

Aquí no hacemos uso de ponderación con Matrices Pareadas con Escalas de Saaty, ni tampoco Vectores Propios Pareados, la ponderación es directa del vector propio, y para los criterios o cualidades omitidas por un entrevistado, homologamos los vectores propios de ponderación directa con las variables residuales.

Una vez obtenido todos los valores de las variables residuales, completamos el arreglo homogéneo de las **k vectores** propios de ponderación directa.

Para nuestro ejemplo este arreglo vectorial quedaría de la siguiente forma:

	V₁	V₂	V₃	V₄
C₁	0.30	0.35	0.40	0.35
C₂	0.25	0.30	0.35	0.15
C₃	0.20	0.15	0.10	0.20
C₄	0.10	0.10	0.05	0.15
C₅	0.15	0.10	0.10	0.15

El siguiente paso es calcular el vector propio promedio de las **k entrevistas**.

$$\overline{v_{P_k}} = \frac{\sum_{i=1}^n \cdot \sum_{j=1}^k x_{ij}}{k}$$

Donde:

$\overline{v_{P_k}}$: vector propio promedio de las entrevistas **k**

n: número de criterios o cualidades del vector propio

k: número de entrevistas

Para nuestro ejercicio de ejemplo esto queda así:

$$\overline{v_{P_4}} = \begin{bmatrix} [0.30 + 0.35 + 0.40 + 0.35]/4 \\ [0.25 + 0.30 + 0.35 + 0.15]/4 \\ [0.20 + 0.15 + 0.10 + 0.10]/4 \\ [0.10 + 0.10 + 0.05 + 0.15]/4 \\ [0.15 + 0.10 + 0.10 + 0.15]/4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.35 \\ 0.2625 \\ 0.1615 \\ 0.10 \\ 0.125 \end{bmatrix} \begin{matrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \\ C_4 \\ C_5 \end{matrix}$$

Para corregir en cierto grado el supuesto de haber igualado las ponderaciones de las variables residuales en cada vector propio con 2 o más variables residuales correspondiente a cada entrevista, ahora volvemos hacia atrás en el proceso y ponderemos las variables residuales con el vector propio promedio calculado.

$$\begin{matrix} & V_1 & V_2 & V_3 & V_4 \\ \begin{matrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \\ C_4 \\ C_5 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0.30 \\ 0.25 \\ 0.20 \\ 0.10 \\ X_{51} \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 0.35 \\ 0.30 \\ 0.15 \\ X_{42} \\ X_{52} \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 0.40 \\ 0.35 \\ 0.10 \\ 0.05 \\ 0.10 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 0.35 \\ X_{24} \\ 0.20 \\ X_{44} \\ X_{45} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Avanzamos con el proceso de definir el vector de variables residuales para las entrevistas donde se dio el hecho de tener 2 o más variables residuales, ponderando este vector propio de variables

residuales con el vector propio promedio calculado con el supuesto de igualdad de las ponderaciones de las variables residuales.

$$\begin{array}{ccc}
 \mathbf{V}_2 \mathbf{X}_{ij} \mathbf{R} & \mathbf{V}_2 \mathbf{X}_{ij} \mathbf{R} & \mathbf{PV}_2 \mathbf{X}_{ij} \mathbf{R} \\
 \begin{bmatrix} X_{42} \\ X_{52} \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} 0.10 \\ 0.125 \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} 0.45 \\ 0.55 \end{bmatrix} \\
 \Sigma = 0.225 & \Sigma = 0.225 & \Sigma = 1
 \end{array}$$

Por tanto la ecuación la podemos definir:

$$\mathbf{PV}_k \mathbf{X}_{ij} \mathbf{R} = \frac{\mathbf{V}_k \mathbf{X}_{ij} \mathbf{R}}{\sum_{i=1}^n \mathbf{V}_k \mathbf{X}_{ij} \mathbf{R}}$$

Donde:

$\mathbf{PV}_k \mathbf{X}_{ij} \mathbf{R}$: Ponderación de vector k de variables residuales en función del vector propio promedio de esas respectivas variables, calculado con variables residuales equivalentes.

$\mathbf{V}_k \mathbf{X}_{ij} \mathbf{R}$: Ponderación de la variable Xij del vector k en función de vector propio promedio

$\sum_{i=1}^n \mathbf{V}_k \mathbf{X}_{ij} \mathbf{R}$: Suma total de las ponderaciones del vector k de variables residuales.

$$\begin{array}{ccc}
 \mathbf{V}_4 \mathbf{X}_{ij} \mathbf{R} & \mathbf{V}_4 \mathbf{X}_{ij} \mathbf{R} & \mathbf{PV}_4 \mathbf{X}_{ij} \mathbf{R} \\
 \begin{bmatrix} x_{24} \\ x_{44} \\ x_{54} \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} 0.2625 \\ 0.10 \\ 0.125 \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} 0.537 \\ 0.2051 \\ 0.235898 \end{bmatrix} \\
 \Sigma = 0.4875 & \Sigma = 0.4875 & \Sigma = 1
 \end{array}$$

Sabemos ahora la ponderación de las variables residuales del vector respectivo con relación al valor total residual obtenido en la entrevista **k**.

Por ejemplo para el vector original de la entrevista 2, tenemos lo siguiente:

$$\begin{array}{ccc}
 \begin{bmatrix} 0.45 \\ 0.55 \end{bmatrix} [0.20] & = & \begin{bmatrix} 0.09 \\ 0.11 \end{bmatrix} \\
 \Sigma = 1 & & \Sigma = 0.20
 \end{array}$$

Para el **vector 4** que de esta manera:

$$\begin{array}{ccc}
 \begin{bmatrix} 0.5384 \\ 0.2051 \\ 0.2565 \end{bmatrix} [0.45] & = & \begin{bmatrix} 0.2423 \\ 0.0922 \\ 0.1155 \end{bmatrix} \\
 \Sigma = 1 & & \Sigma = 0.45
 \end{array}$$

Reconstruimos el arreglo de los **k** vectores originales de las entrevistas con las ponderaciones ajustadas calculadas para las variables residuales, quedando así:

$$\begin{array}{cccc}
 & \mathbf{V}_1 & \mathbf{V}_2 & \mathbf{V}_3 & \mathbf{V}_4 \\
 \mathbf{C}_1 & \left[\begin{array}{c} 0.30 \\ 0.25 \\ 0.20 \\ 0.10 \\ 0.15 \end{array} \right] & \left[\begin{array}{c} 0.35 \\ 0.30 \\ 0.15 \\ 0.09 \\ 0.11 \end{array} \right] & \left[\begin{array}{c} 0.40 \\ 0.35 \\ 0.10 \\ 0.05 \\ 0.10 \end{array} \right] & \left[\begin{array}{c} 0.35 \\ 0.2423 \\ 0.20 \\ 0.0922 \\ 0.1155 \end{array} \right] \\
 \mathbf{C}_2 & & & & \\
 \mathbf{C}_3 & & & & \\
 \mathbf{C}_4 & & & & \\
 \mathbf{C}_5 & & & & \\
 \Sigma & = 1 & = 1 & = 1 & = 1
 \end{array}$$

Proseguimos con volver a calcular el vector propio promedio de las **k** entrevistas con los valores ajustados de las variables residuales.

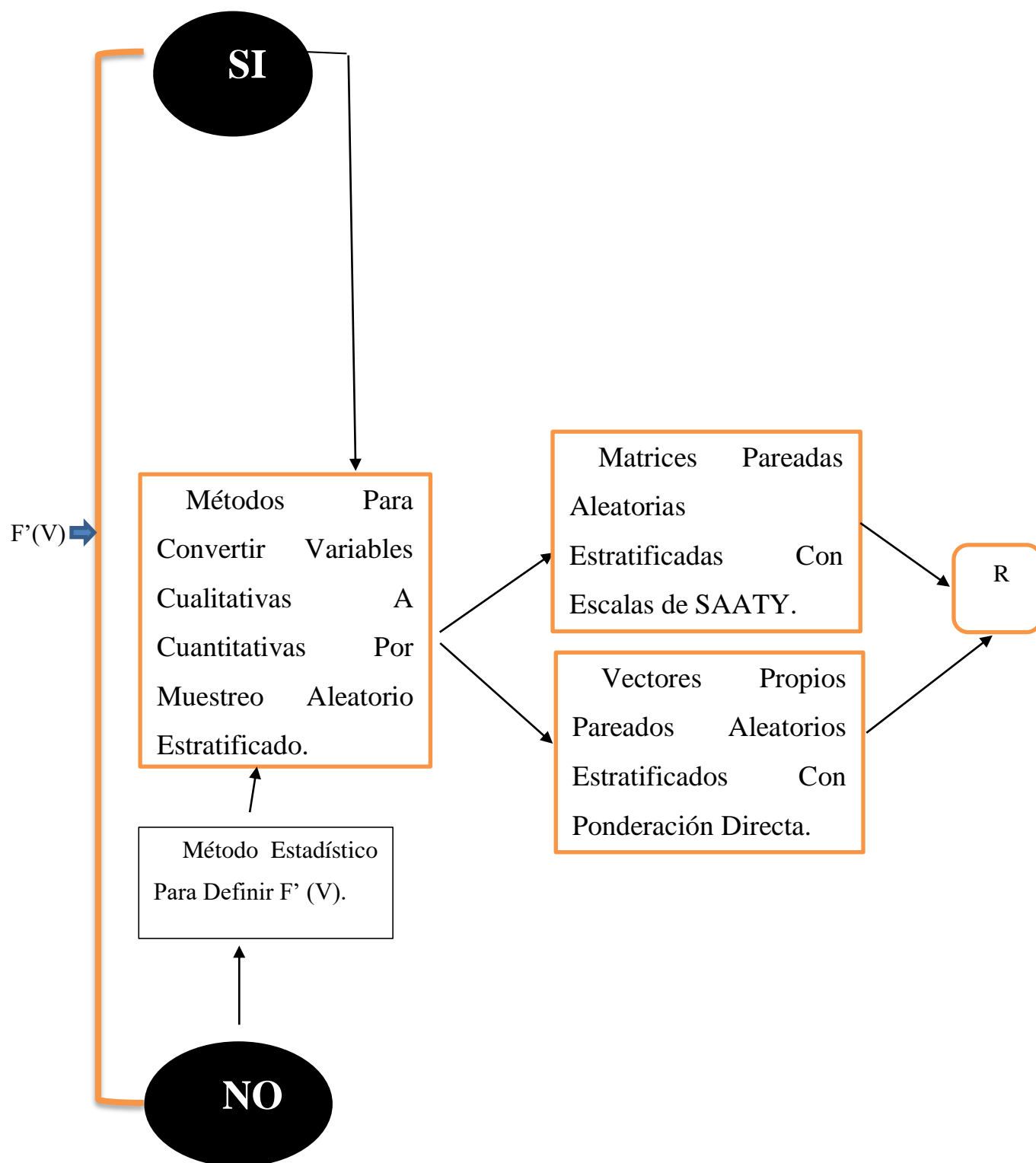
$$\overline{VP_K} \text{ajustado} = \begin{bmatrix} 0.35 \\ 0.2855 \\ 0.1625 \\ 0.0931 \\ 0.1189 \end{bmatrix} \begin{matrix} \mathbf{C}_1 \\ \mathbf{C}_2 \\ \mathbf{C}_3 \\ \mathbf{C}_4 \\ \mathbf{C}_5 \end{matrix}$$

Nótese que el vector propio promedio primeramente calculado de las **k entrevistas** donde supusimos la equivalencia de las variables residuales para la entrevista correspondiente, al segundo vector propio promedio calculando con los valores ajustados de las variables residuales, sólo de los criterios o cualidades que tenían 2 o más variables residuales fueron los que sufrieron cambios del primer vector propio promedio con variables residuales equivalentes al cálculo del vector propio promedio con variables residuales ajustadas mediante el vector primero.

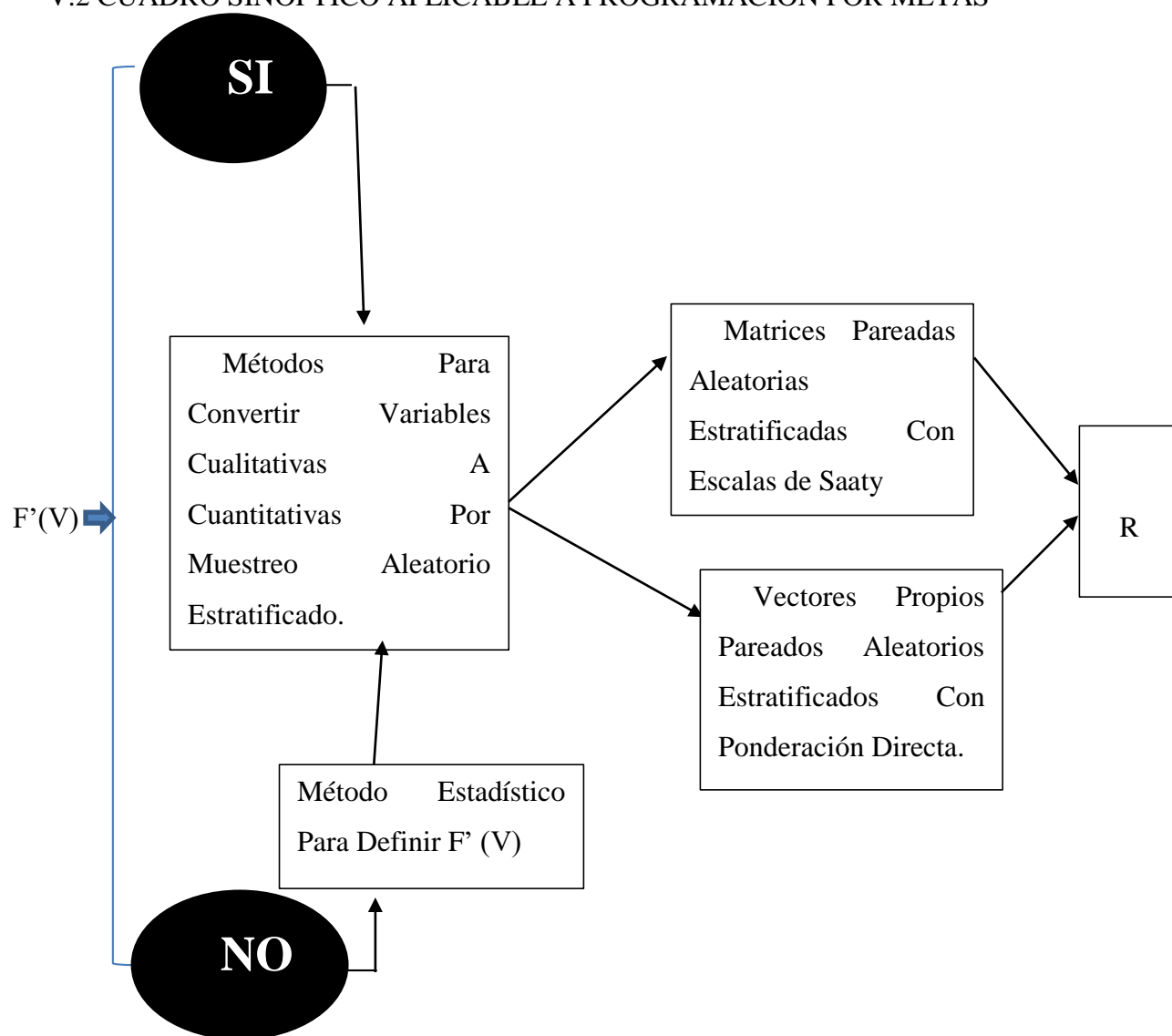
Esta metodología propuesta, se complementa al Proceso Analítico Jerárquico, lo que pretendemos con esta aportación es integrar un sistema estadístico al método básico original, con el objetivo de mejorar sustantivamente la legitimación del método, como objetivo y científicamente validado con una adición de certidumbre, fiabilidad, por la metamorfosis de un método básico a uno al que le podemos enunciar Proceso Analítico Jerárquico Estadístico.

V. CUADROS SINOPTICOS DE METODOS PROPUESTOS

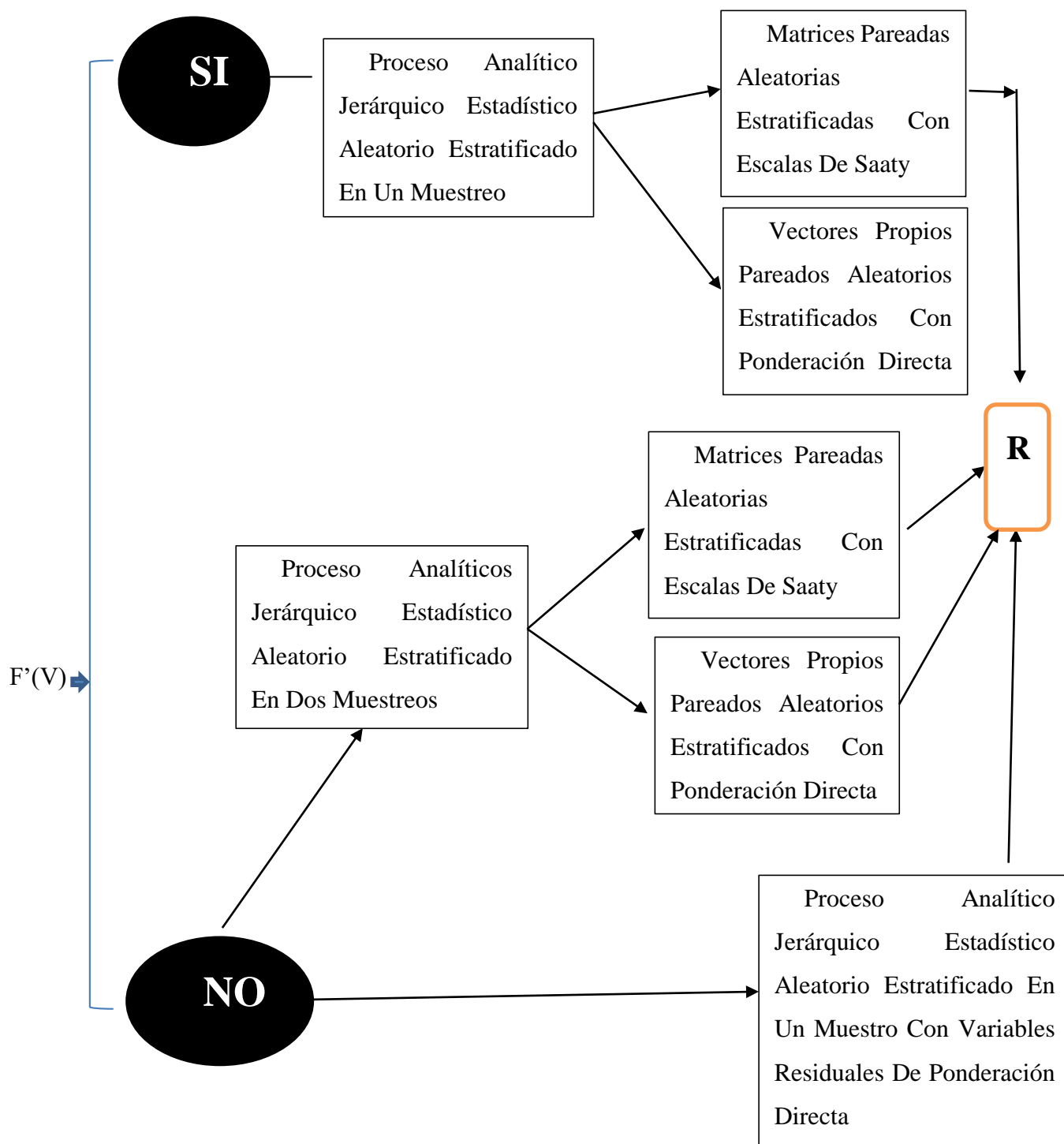
V.I CUADRO SINOPTICO APLICABLE A ECONOMETRIA LINEAL



V.2 CUADRO SINOPTICO APLICABLE A PROGRAMACION POR METAS



V.3 METODOS ESPECIALES DEL PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO ESTADISTICO ALEATORIO ESTRATIFICADO.



VI. CONCLUSIONES

Cuando no se comprende el significado profundo de las cosas, hay desasosiego, ansiedad, tensión y angustia, no se logra la paz mental. Mi búsqueda comenzó a la par con el inicio del curso de Métodos y Procedimientos de Valuación, cuando por primera vez tuve conocimiento de los métodos matemáticos aplicados a valuación, surgió mi necesidad de saber más, aprender las bases matemáticas, lo que me condujo a estudiar con ahínco álgebra lineal, estadísticas, econometría e investigación de operaciones.

Después de 22 años como me reencontré con mi vocación académica, he dejado mi carrera empresarial en pausa, para ir en confianza plena siguiendo la voz de mi centro, atreverme a fluir a ser un hombre de brillantes perspectivas, cumpliendo sus sueños. Desde el primer día, estuve en un estado permanente de inquietud, reflexión, estudio, quería comprender la profundidad de este nuevo conocimiento para mí, quería poder saber del cómo, por qué, cuándo, dónde, me afligía esta incompreensión; Así se lo manifesté a mi maestro, gran conocedor de las matemáticas aplicadas a la valoración, el respetado Dr. Luis García Márquez, mis inquietudes del curso que nos impartía con grandeza, generosidad y sapiencia ilustre, le pedí una oportunidad para trabajar en la elaboración de este análisis foda de los métodos matemáticos de valoración y propuestas metodológicas para mejoras sustantivas de los mismos, y con su venia y apoyo irrestricto, me di a la tarea de escribir este trabajo de análisis y propuestas.

Este trabajo académico pretende abonar a los grandes desafíos de la ciencia valuatoria, tales como homologación legal, reglamentos, normas, formación de sistemas información estratégica en bases de datos integrados, cooperación de academia, colegios de valuación e instituciones públicas y privadas., que nos permita la construcción de un marco teórico para definir un manual de funciones de valor, hipótesis validadas con el rigor científico.

El punto nodal de mi análisis es que los métodos matemáticos son exactos en generar un resultado en función de la información con la que alimentas al sistema, si le suministras paja, obtendrás paja del sistema. El axioma es que si hacemos planteamientos erróneos, los modelos generan indubitablemente, respuestas erróneas. La cimentación de todo modelo matemático está en definir acertadamente la función de valor, o sea los criterios de valor, lo que es determinante y definitorio de todo el proceso de la valoración. Si formulamos las preguntas correctas, los métodos matemáticos nos darán las respuestas correctas.

En vista de que el ideal del estadio de madurez, cooperación y consolidación de los principios teóricos científicos de la valuación están en ciernes, por ello mi propuesta central de este trabajo consiste en promover la utilización de los métodos estadísticos para encontrar la función de valor, como lo he reiterado muchas veces a lo largo de este ensayo, que la valuación es la develación de la conciencia social sobre la realidad percibida, y el valuador que cae en la práctica de definir la función de valor a criterio personal, se aleja del centro de la realidad socialmente percibida.

También hago hincapié en la imperiosa necesidad de métodos para convertir las variables cualitativas a cuantitativas de manera objetiva, a través del método estadístico, con el fin de obtener escalas de valor lo más alejadas de la subjetividad, ya sea por medio de Matrices Pareadas con Escalas de Saaty o con Vectores Propios Pareados. El método de vectores propios pareados fue una revelación intelectual surgido en la dinámica de la elaboración de este ensayo, es un método de mi autoría, una idea genuina, original, que ve la luz en la publicación de este trabajo, en la salvedad que desconozco que si existe un antecedente publicado por un semejante, no lo dudo al ser este universo tan basto y extenso, lo que quiero recalcar es que son propuestas más, auténticas y honestamente presentadas por un novato aprendiz del arte y ciencia de la valoración. Los Vectores Propios Pareados son a mi humilde juicio y saber, un mejor método para convertir variables cualitativas a cuantitativas que las Matrices Pareadas con Escalas de Saaty, las ventajas de este método es que es perfectamente consistente, de ponderación directa, más sencillo de implementarse y calcularse con operaciones aritméticas fundamentales. Es un método más exacto y sencillo de llevar a cabo, que no presenta nunca errores de consistencia como sí las tiene el método de Matrices Pareadas con Escalas de Saaty.

Otra idea original presentada en este ensayo, con el cual me he empeñado en hacer una digna contribución para el análisis, discusión y escrutinio de la comunidad académica y profesional de la valoración es el método del proceso analítico jerárquico estadístico de un solo muestreo aleatorio estratificado, para la definición de los criterios de valor y su ponderación, la definición de las cualidades de las variables cualitativas y su ponderación, todo de manera simultánea, en un solo muestreo aleatorio estratificado con variables residuales, método mixto que pretende economías en tiempos y costos, para la aplicación del método del Proceso Analítico Jerárquico Estadístico. Hay mucho por hacer, los retos y las oportunidades son extensas, y debemos seguir la brega para hacer la praxis valuatoria algo más que una profesión subjetiva hacia una transformación de ciencia social.

Debemos impulsar una revolución del binomio, métodos matemáticos estadísticos y aplicaciones tecnológicas de informática, para recolectar y procesar la información mediante plataformas de aplicaciones móviles, debido a que hoy en día, el medio de comunicación más utilizado en el mundo son los teléfonos móviles, debemos evolucionar, adaptándonos para encaminar a la profesión de la valoración en la factibilidad de trascender las limitantes actuales, para implementar entrevistas, procesar la información en forma rápida y de bajo costo, y con ello lograr esta revolución tecnológica de la valoración por medio de aplicaciones móviles.

Asumo el reto y seguiré en tiempos venideros, con el favor de Dios, proponiendo temas de investigación y desarrollo, de las cuales puedo adelantar dos ideas que están ya germinando en la dinámica de la creación intelectual. La primera idea consiste en desarrollar una matriz del valor social, un sistema de ecuaciones de los principales objetos de valor de toda una economía nacional, algo parecido o similar conceptualmente a la matriz Insumo-Producto de Leontief. Y la segunda es un estudio de la valoración de oficios y profesiones, análogamente como definir el vector propio de ponderación de los principales oficios y profesiones en una región, zona geográfica, nación, inclusive un bloque económico, que para nuestro caso es el T-MEC, según se defina en los alcances de ubicación espacial del estudio, ello con el objetivo de definir políticas públicas, de empleo, migración, educación y combate a la pobreza, al conocer las profesiones y oficios que más se valoran en dichas delimitaciones geográficas.

Bibliografía

- Adan Lopez Miranda, D. L. (2018). *Administración de Proyectos*. Ciudad de México: Pearson.
- Alfredo Diaz Mata, V. M. (2013). *Matemáticas Financieras*. Ciudad de México: McGrawHill.
- Berndt, E. R. (1991). *The Practice of Econometrics: Classic and Contemporary*. ADDISON-WESLEY PUBLISHING COMPANY.
- Casares, D. A. (2019). *Ingeniería de Costos en la Construcción*. Ciudad de México: Trillas.
- Dominique Achour, G. C. (2005). *Bienes Raíces*. Quebec, Canada: Limusa.
- Grossman, S. I. (1996). *Álgebra Lineal*. Ciudad de México: McGrawHill.
- Gujarati, D. N. (1997). *Econometría*. Santa Fe de Bogotá, Colombia: McGrawHill.
- J. P. Gould, E. L. (1994). *Teoría Microeconómica*. Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica.
- Jeronimo Aznar Bellver, F. G. (2012). *Nuevos Métodos de Valoración, Modelos Multicriterio*. Valencia, España: UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA.
- K. Roscoe Davis, P. G. (1984). *Modelos Cuantitativos Para Administración*. Estados Unidos de América: Grupo Editorial Iberoamérica.
- Lipschutz, S. (1988). *Probabilidad*. Ciudad de México: McGrawHill.
- Salvatore, D. (1991). *Econometría*. Ciudad de MÉXICO: McGrawHill.
- Urbina, G. B. (1995). *Evaluación de Proyectos*. Ciudad de México: McGrawHill.