

Introducción a los modelos exploratorios de ecuaciones estructurales (ESEM)

Víctor B. Arias, Ph. D.



Universidad de Valladolid

Programa

1. Revisión de algunos conceptos básicos del análisis factorial
2. Ventajas e inconvenientes del AFE y CFA
3. Características y ventajas de los modelos exploratorios de ecuaciones estructurales
4. Ejemplos: aplicaciones del ESEM a la investigación en el ámbito escolar

¿Por qué ESEM?

- Ventajas frente a otras técnicas como EFA o CFA
- Puede ser una técnica apropiada para el análisis de constructos complejos
- Cada vez mas frecuente en investigación
 - Asparouhov & Muthen, 2009: 731 citas (google scholar)

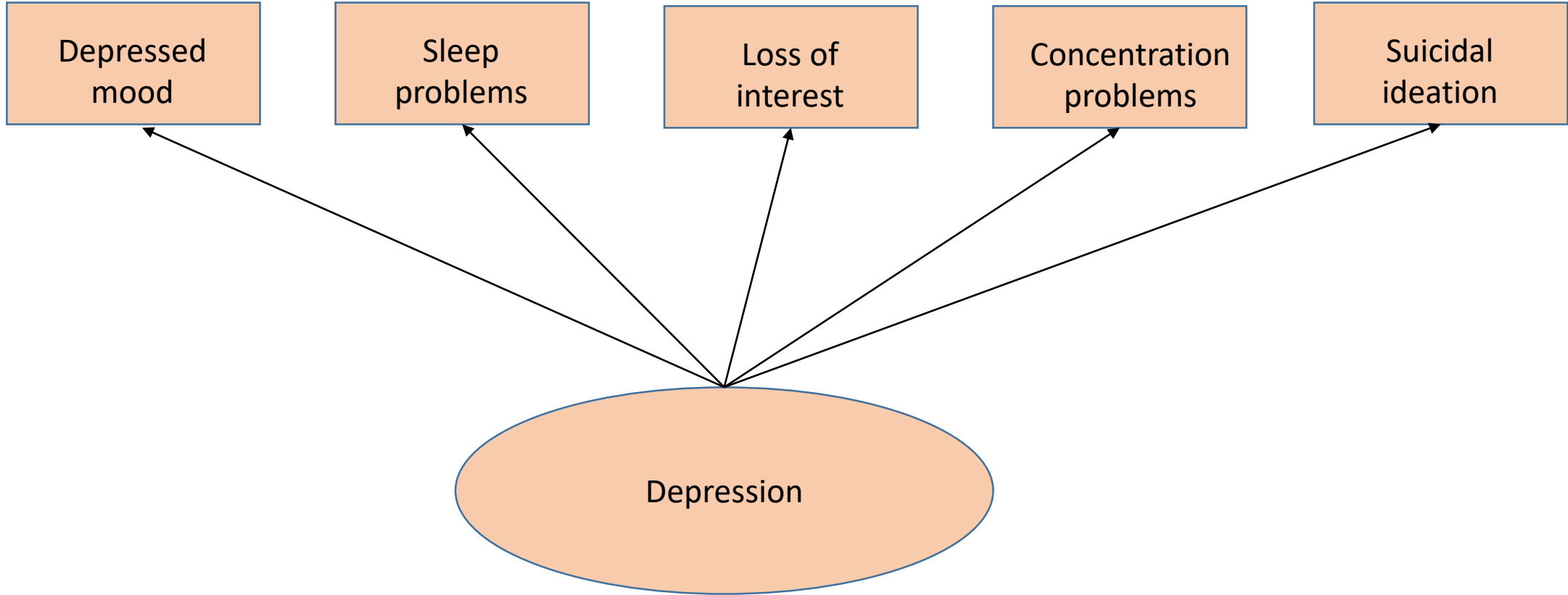
Depressed
mood

Sleep
problems

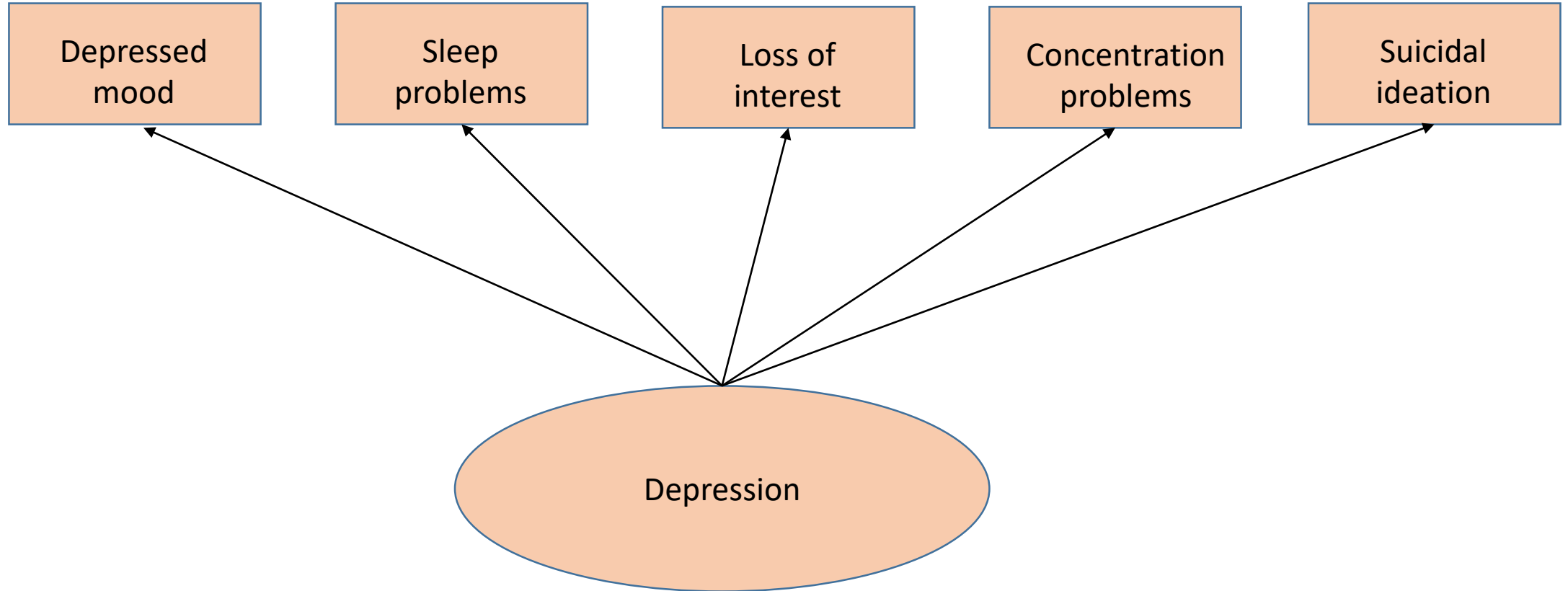
Loss of
interest

Concentration
problems

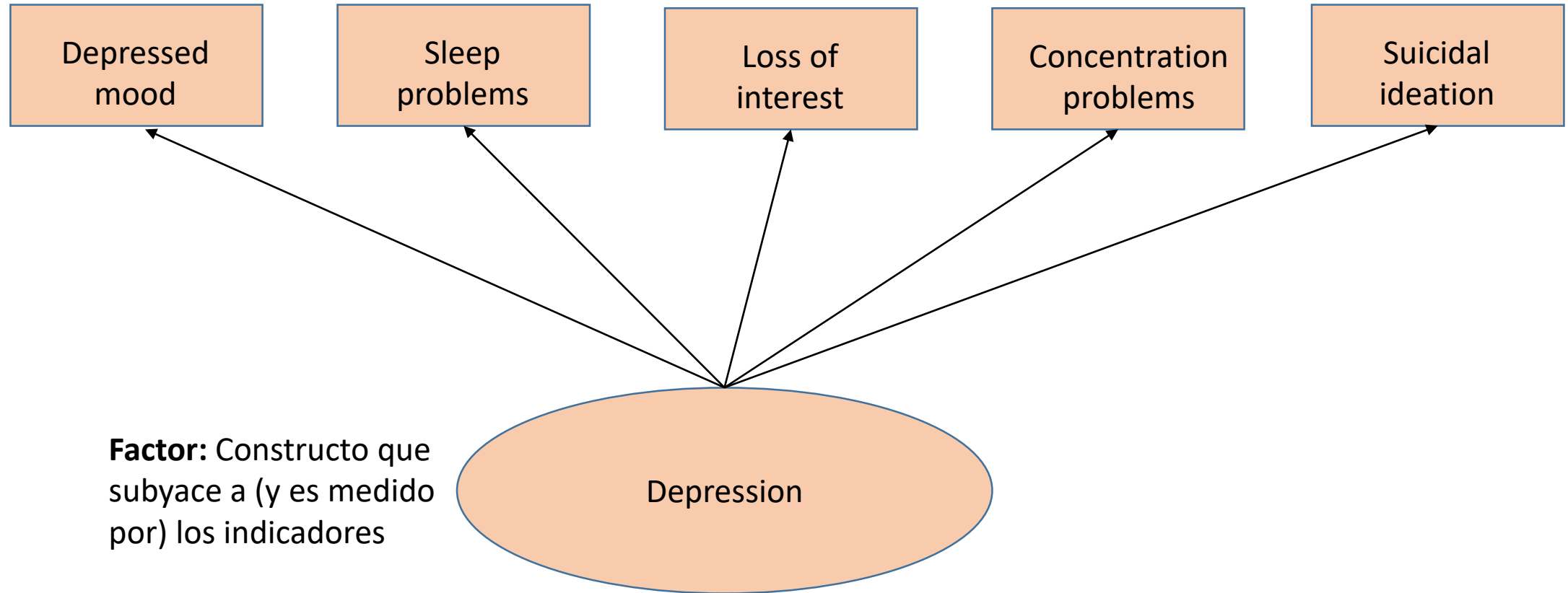
Suicidal
ideation



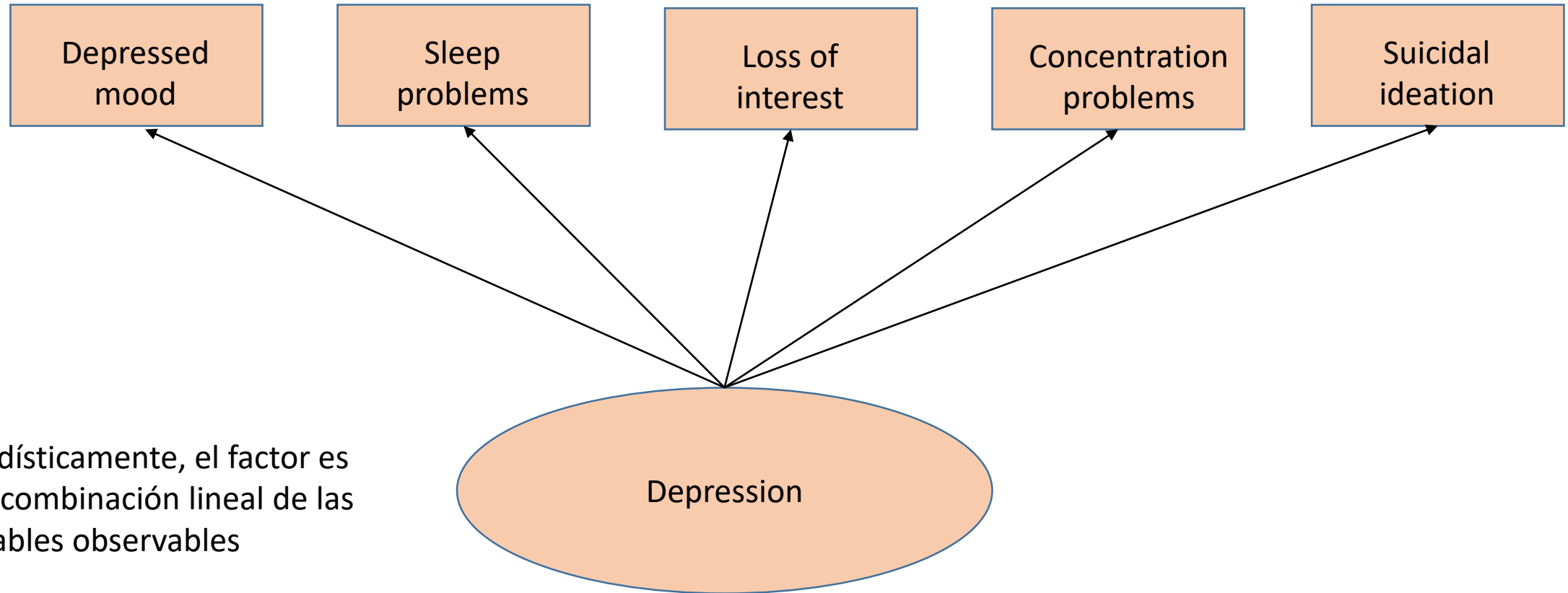
Modelo de variable latente reflectivo



Modelo de factor común

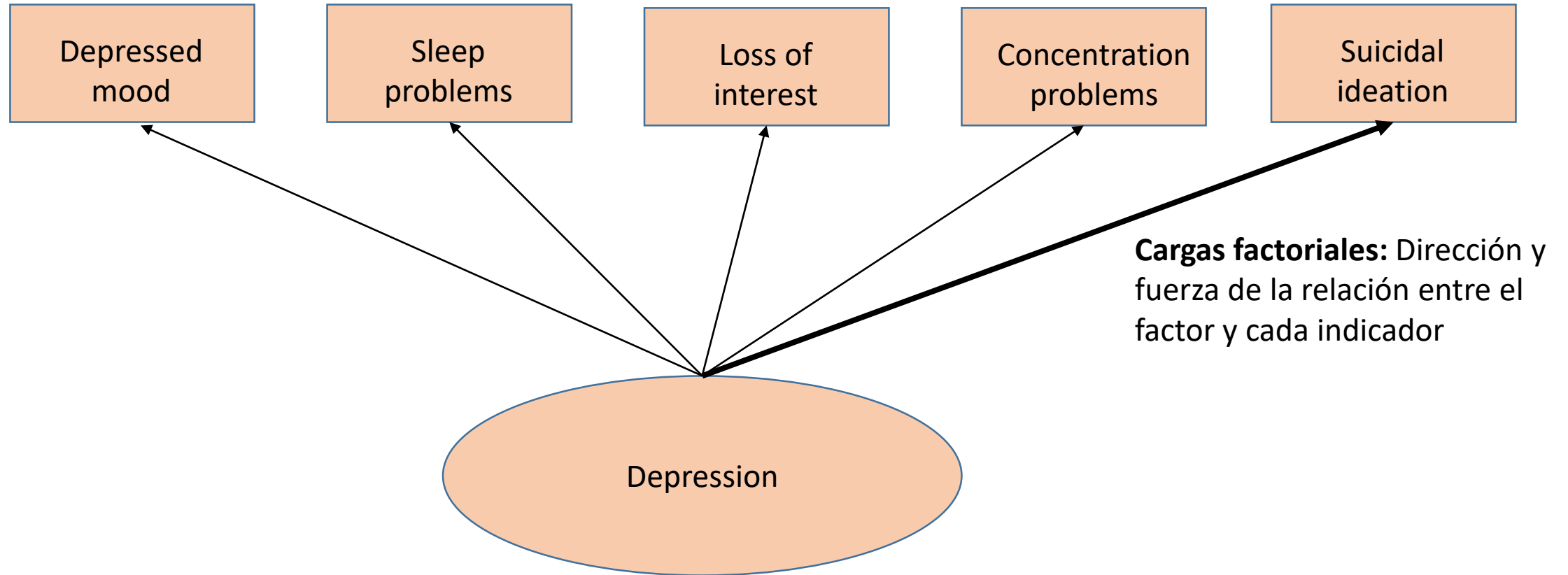


Modelo de factor común

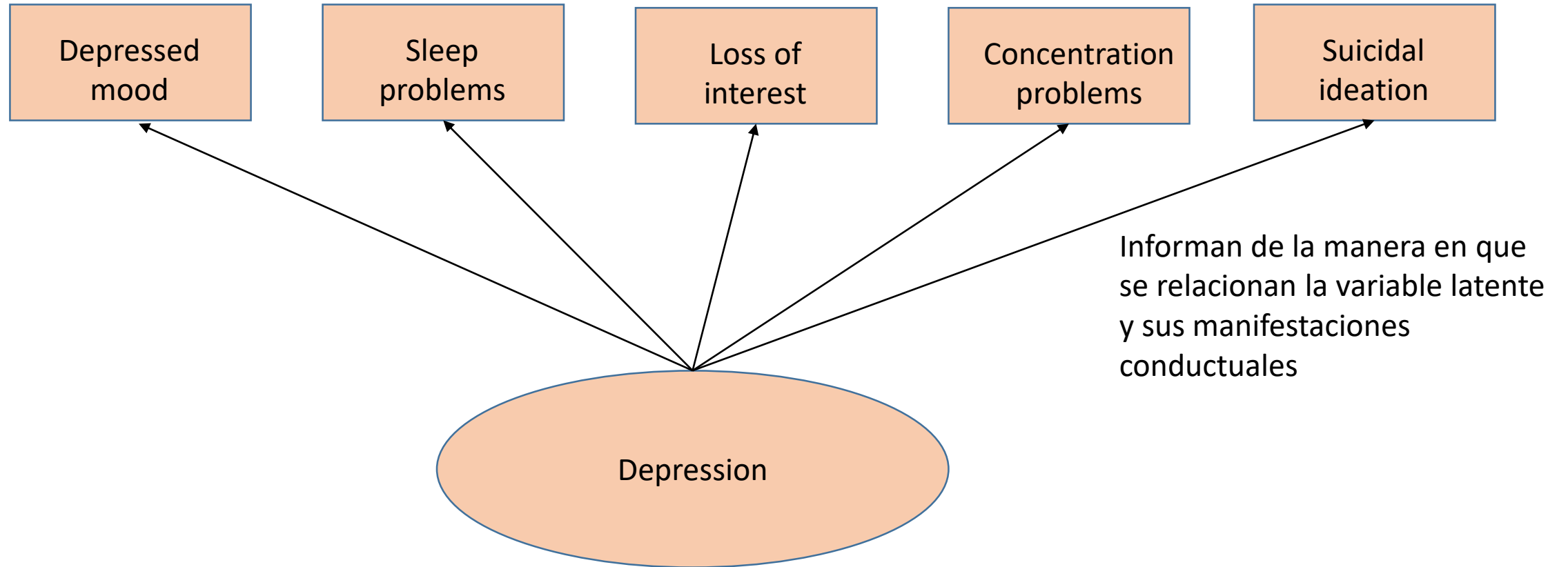


Estadísticamente, el factor es una combinación lineal de las variables observables

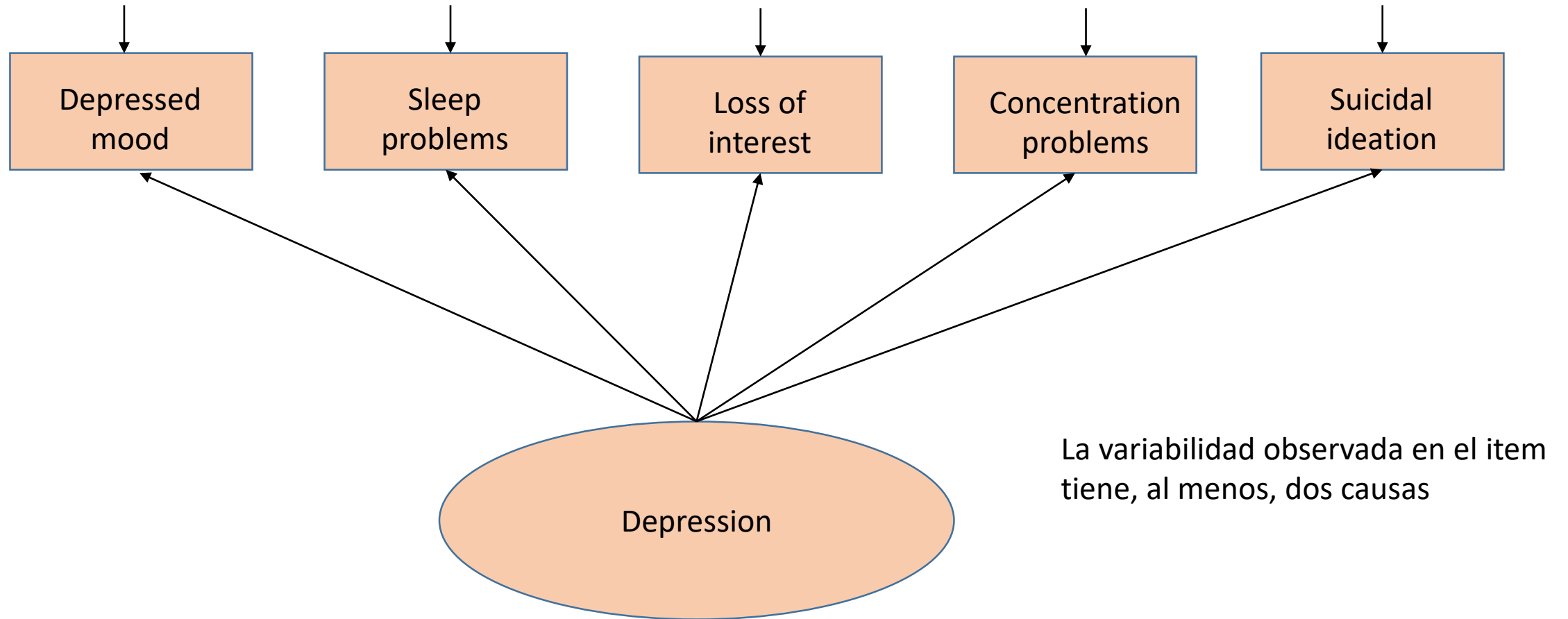
Modelo de factor común



Modelo de factor común

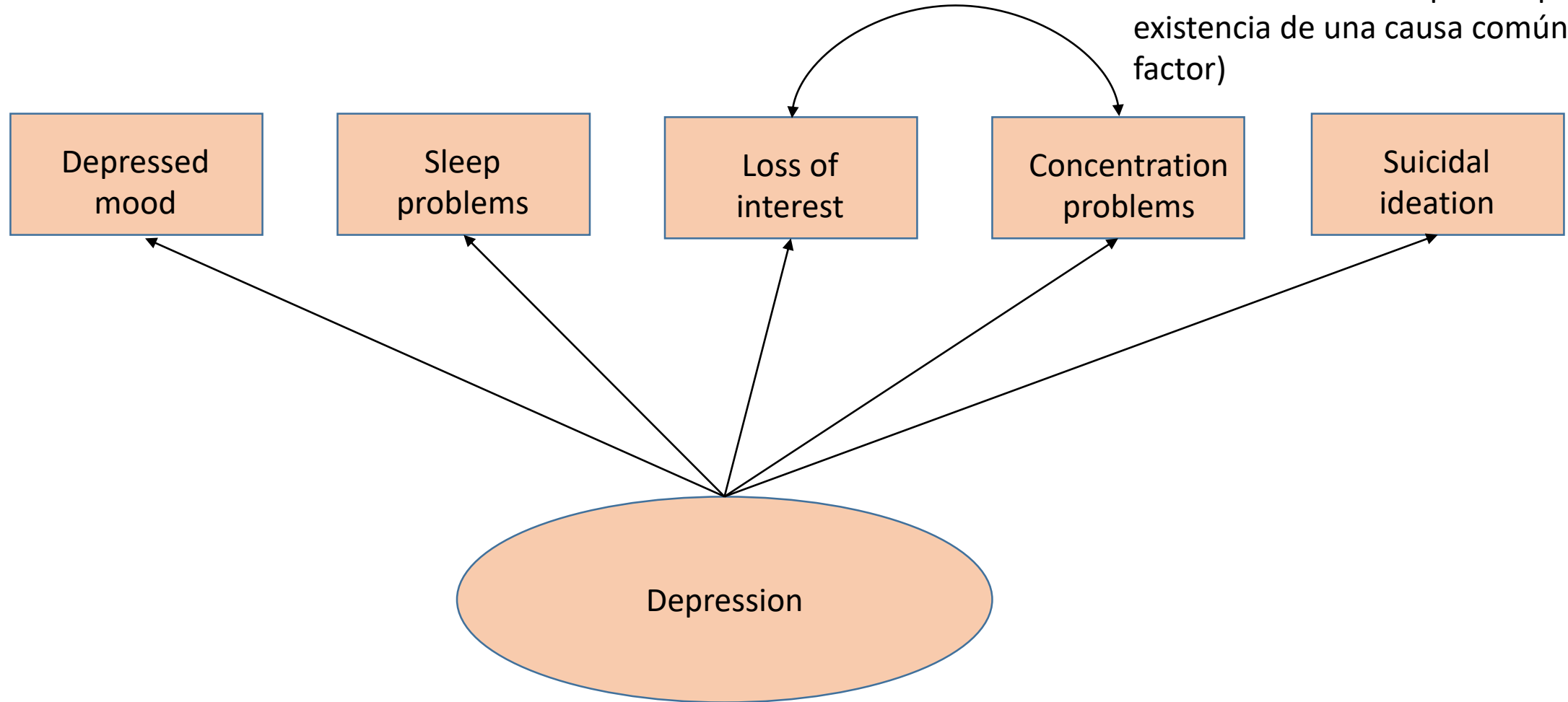


Modelo de factor común

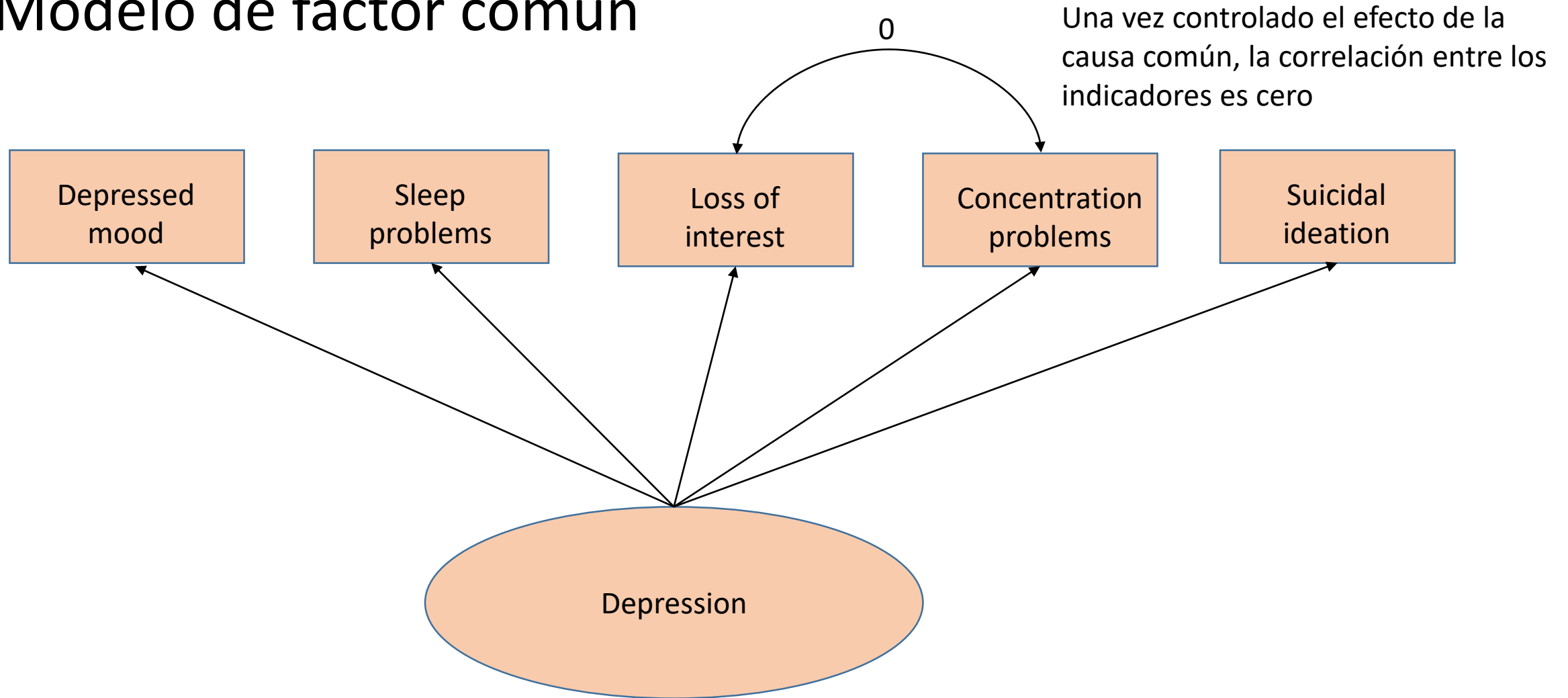


Modelo de factor común

Independencia condicional: La correlación entre los indicadores está COMPLETAMENTE explicada por la existencia de una causa común (el factor)



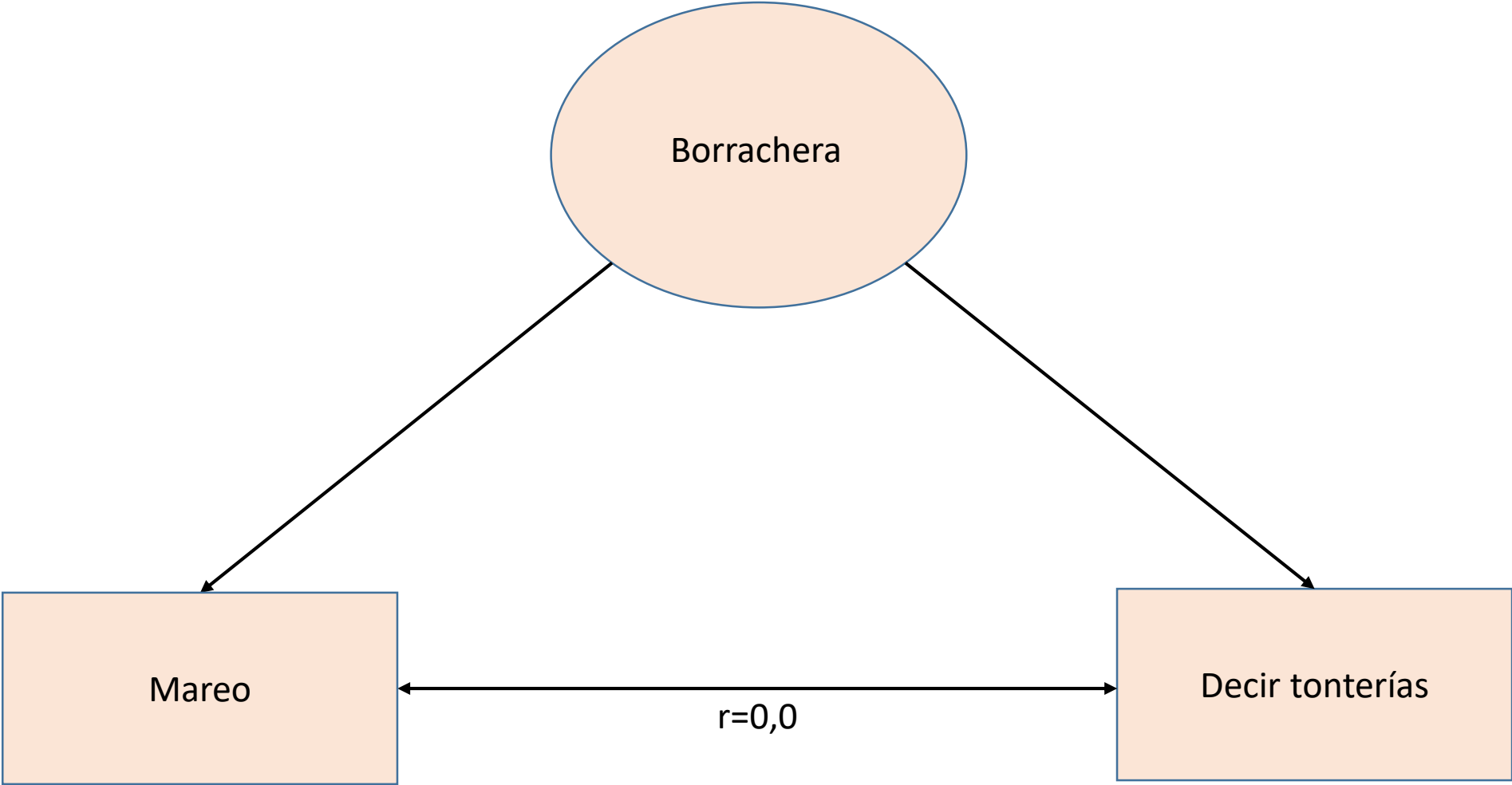
Modelo de factor común



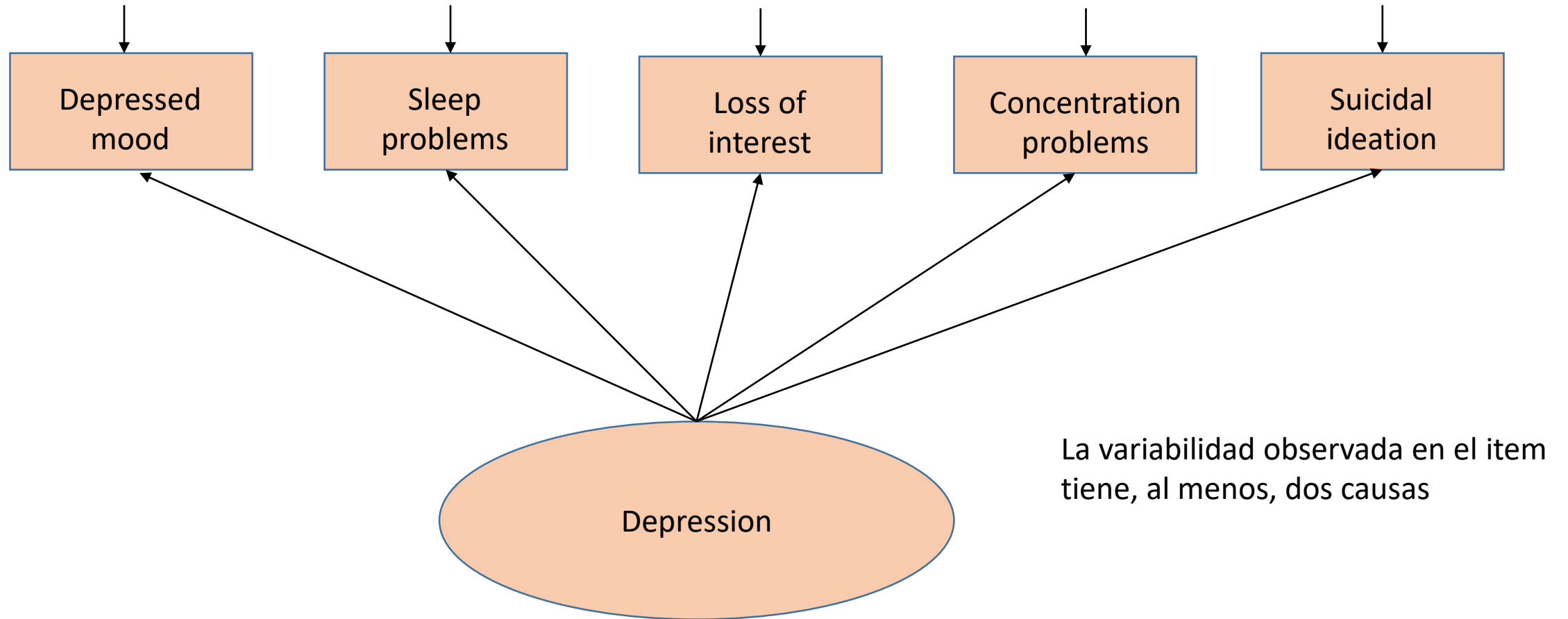
Mareo

$r=0,71$

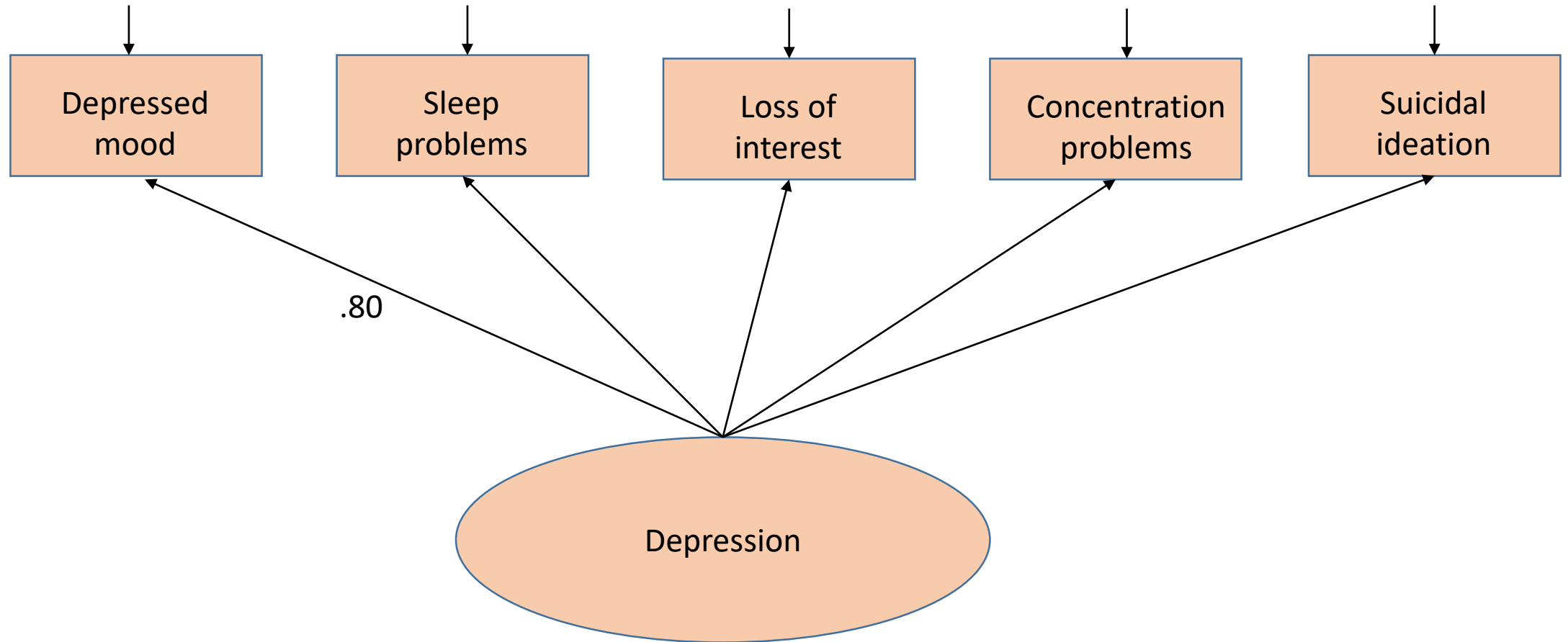
Decir tonterías



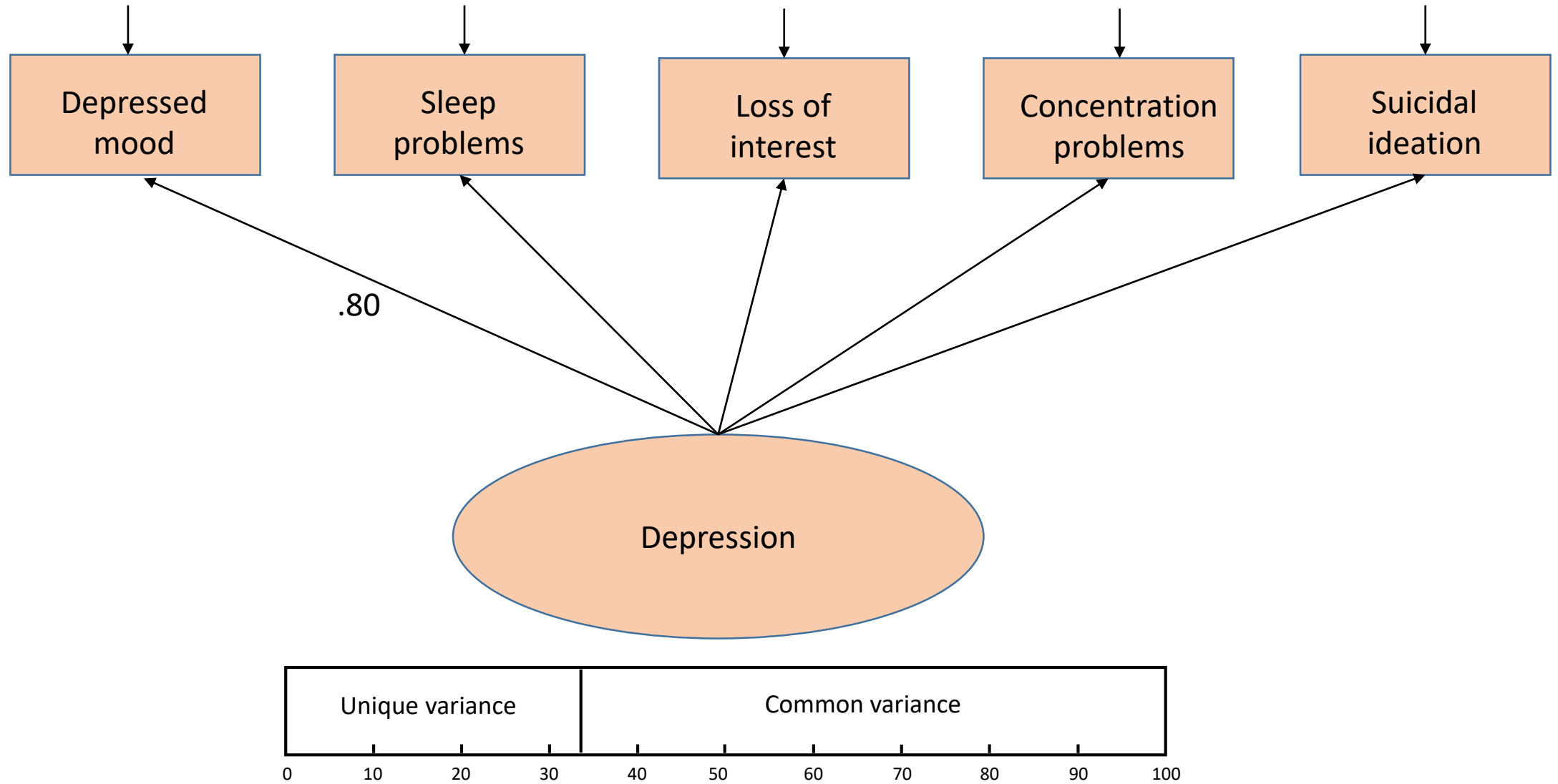
Modelo de factor común



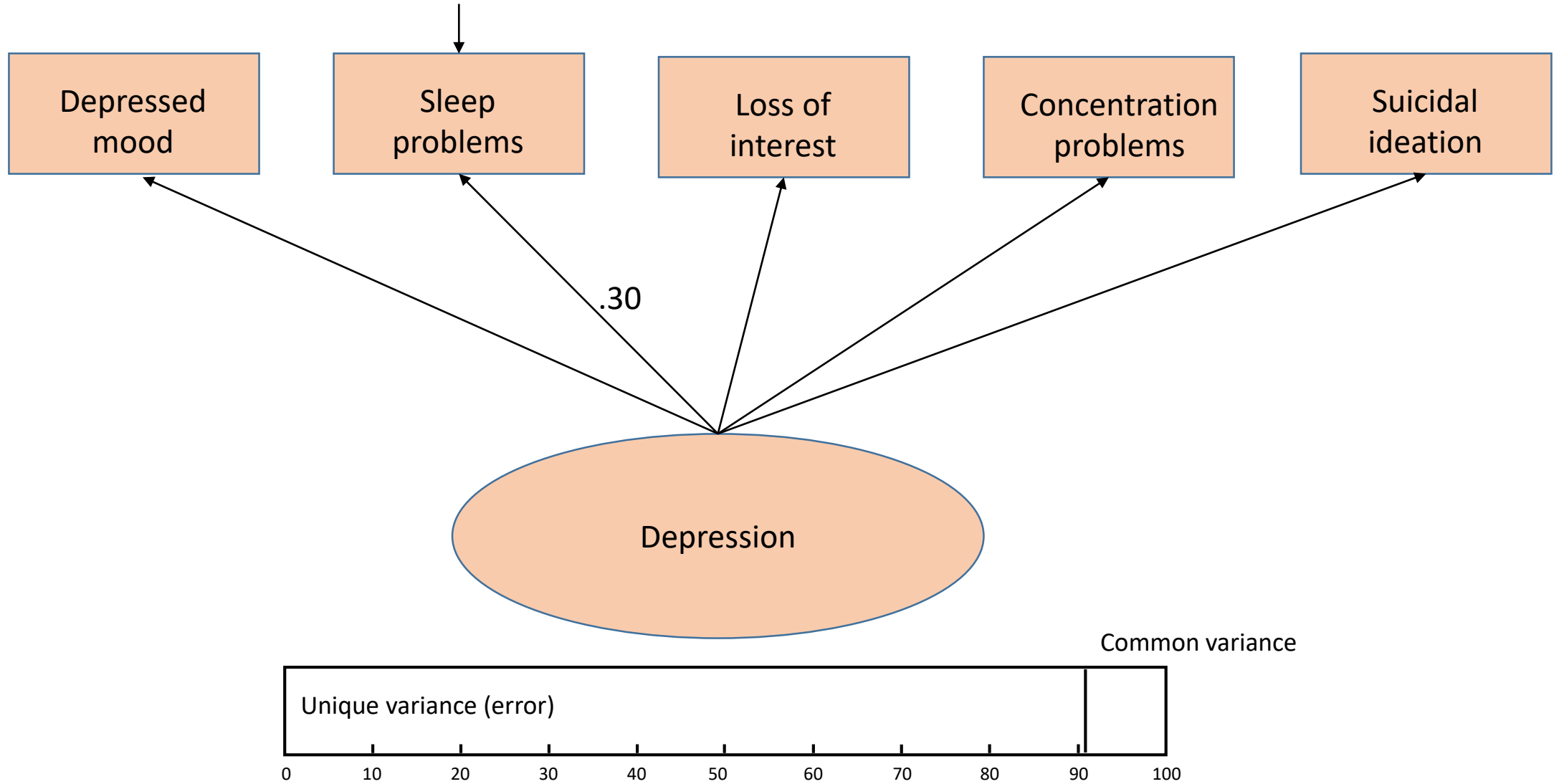
Modelo de factor común



Modelo de factor común



Modelo de factor común

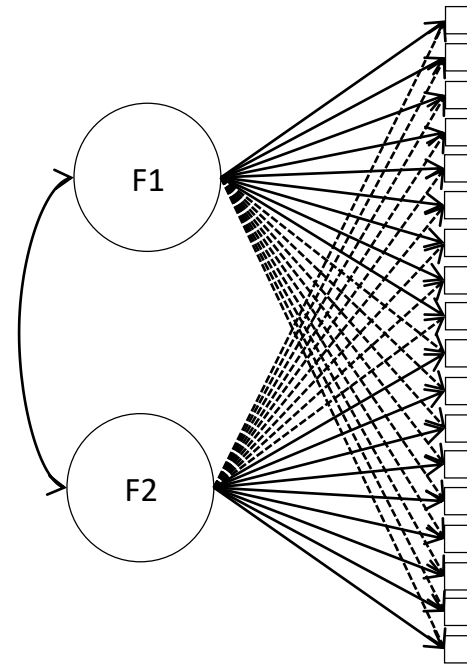


Técnicas de análisis factorial

- Exploratory factor analysis (EFA)
- Confirmatory factor analysis (CFA)
- Exploratory Structural Equation Modeling (ESEM)
- Bayesian CFA/ESEM
- AF basado en la Teoría de la Respuesta al Item

EFA

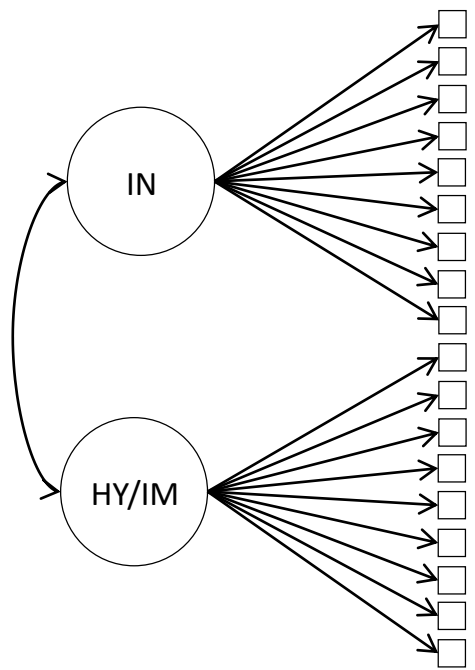
- Procedimiento mecánico de extracción de factores a partir de una matriz de correlaciones inter-item



Modelo EFA

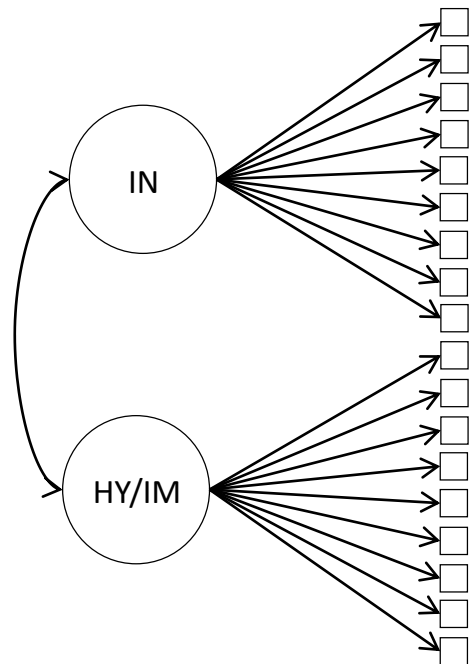
Independent cluster model of confirmatory factor analysis (ICM-CFA)

- Procedimiento de análisis factorial guiado por hipótesis
 - Permite el contraste empírico de modelos teóricos previamente definidos por el investigador

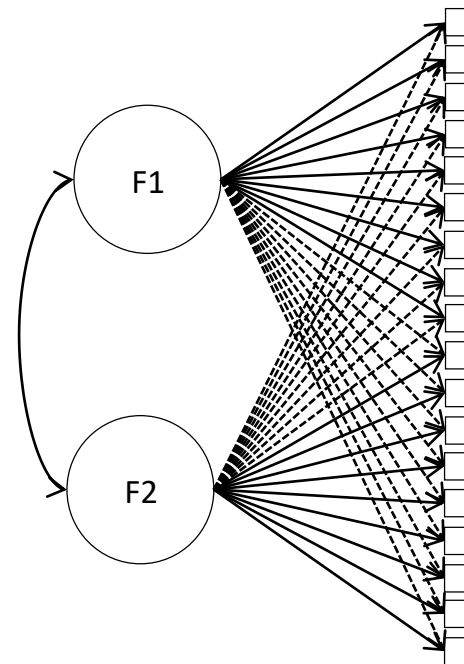


Modelo ICM-CFA

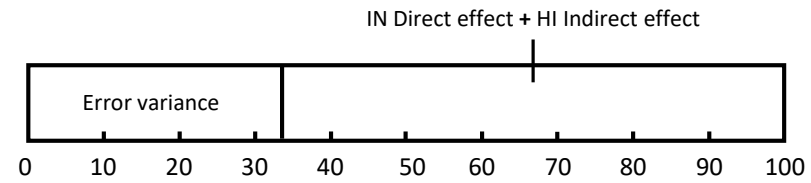
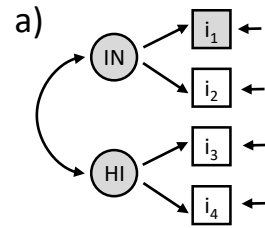
¿Diferencias?



Modelo ICM-CFA

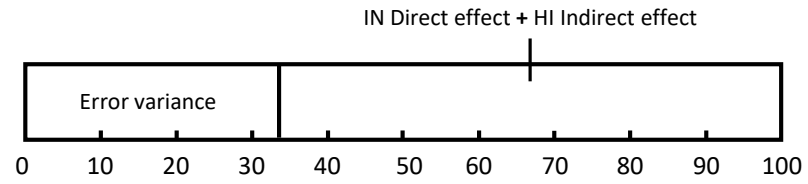
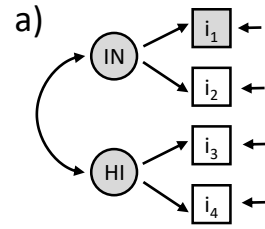


Modelo EFA/ESEM

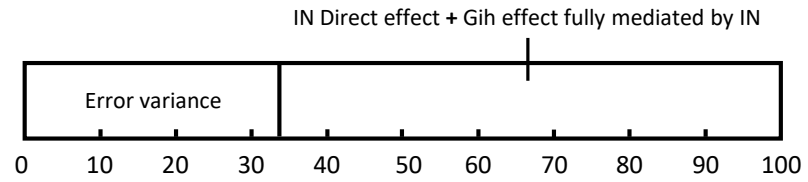
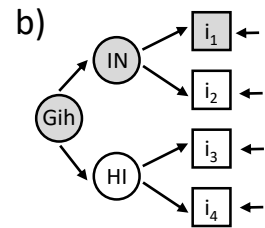


Oblique CFA
 $\lambda_{item,IN} = 0.82$

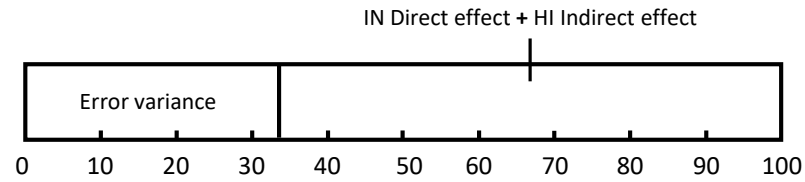
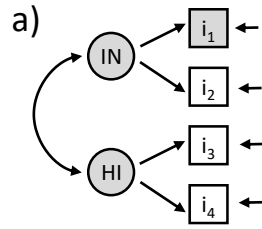
Adaptado de: Arias, V. B., Ponce, F. P., & Núñez, D. E. (2016). Bifactor Models of Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder (ADHD): An Evaluation of Three Necessary but Underused Psychometric Indexes. *Assessment*, 1, 13.



Oblique CFA
 $\lambda_{Item,IN} = 0.82$

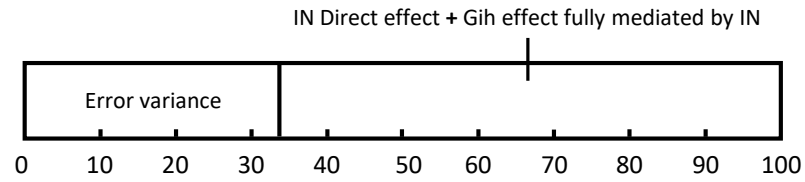
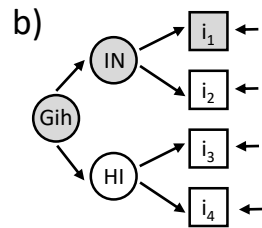


Second order CFA
 $\lambda_{Item,IN} = 0.82$
 $\lambda_{Gih\ on\ IN} = 0.92$



Oblique CFA

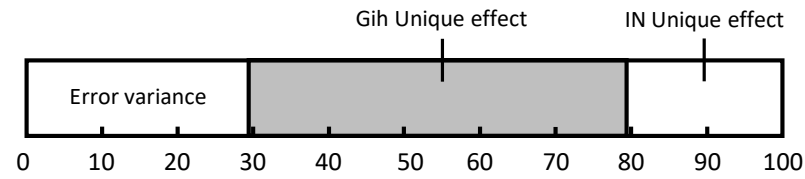
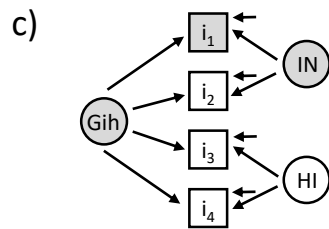
$$\lambda_{Item,IN} = 0.82$$



Second order CFA

$$\lambda_{Item,IN} = 0.82$$

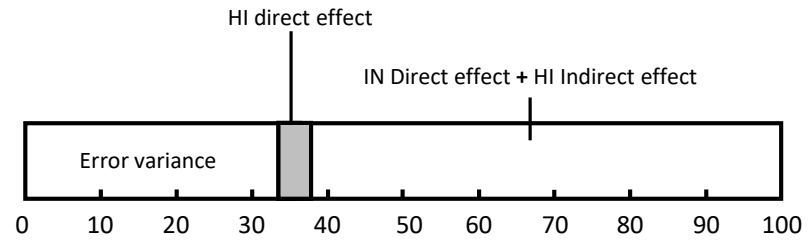
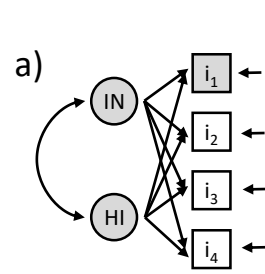
$$\lambda_{Gih\ on\ IN} = 0.92$$



Bifactor CFA

$$\lambda_{Item,IN} = 0.45$$

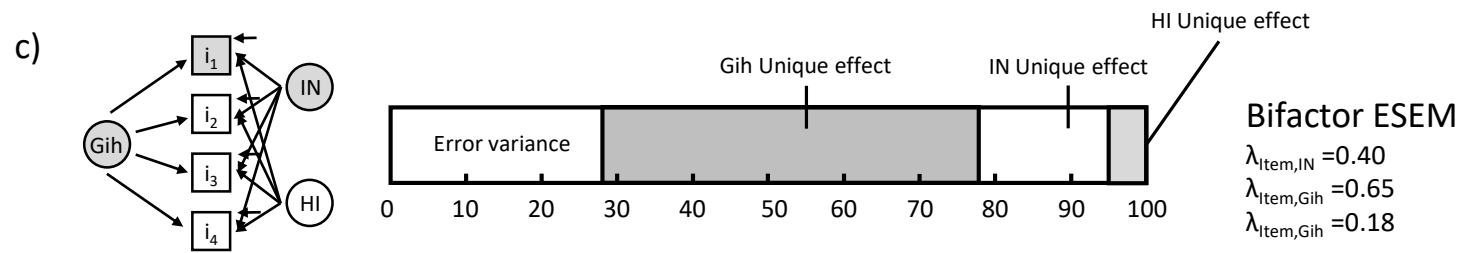
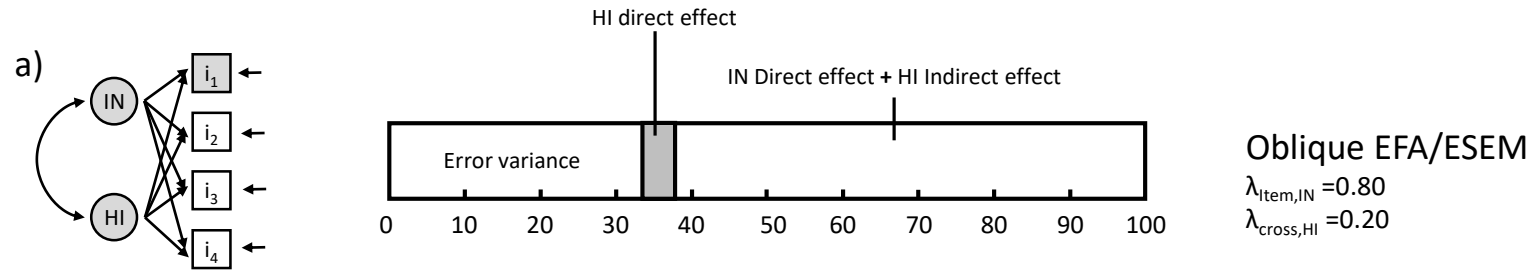
$$\lambda_{Item,Gih} = 0.71$$



Oblique EFA/ESEM

$$\lambda_{item,IN} = 0.80$$

$$\lambda_{cross,HI} = 0.20$$



EFA: Algunas ventajas

- Flexible, no restrictivo
- Fácil de estimar, sobre todo cuando se hace mal (e.g., configuración por defecto en SPSS)
 - Difícil de dominar
- Útil para detectar agrupaciones de variables relacionadas
 - Especialmente en las primeras etapas de la construcción o adaptación de una escala

EFA: Algunos problemas

- Dificultad para determinar qué modelo ajusta mejor a los datos
- Dificultad (o imposibilidad) para manipular los parámetros del modelo (e.g., errores de medida, cargas factoriales, varianzas, etc.).
 - Dificultad (o imposibilidad) de análisis fundamentales para la investigación (e.g., invarianza de medida).
- Dificultad (o imposibilidad) para especificar modelos complejos

ICM-CFA: Algunas ventajas

- Permite **comparar el ajuste** de modelos anidados: contraste de hipótesis acerca de la dimensionalidad y estructura interna del constructo (diferentes especificaciones del modelo)
- Permite la **manipulación** de la mayor parte de los parámetros contenidos en el modelo (e.g., detección y modelado de fuentes locales de desajuste)
- Permite una amplia **variedad de análisis** muy útiles en investigación: MIMIC, MTMM, invarianza de medida, multigrupo, crecimiento latente, multinivel, etc.
- Permite fácilmente estimar **modelos de medida complejos** (e.g., modelos bifactor, de segundo orden, modelos de intercepta aleatoria, etc.).

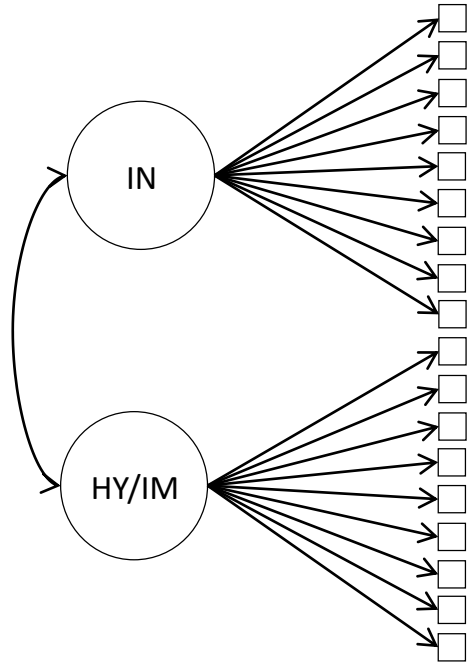
Independent cluster model of confirmatory factor analysis (ICM-CFA): Algunos problemas

- Excesiva **restrictividad**: el ajuste es demasiado sensible a la complejidad del modelo
- Potencial **sesgo** en la estimación de parámetros
- Potencial **implausibilidad** de las relaciones entre los ítems y el factor

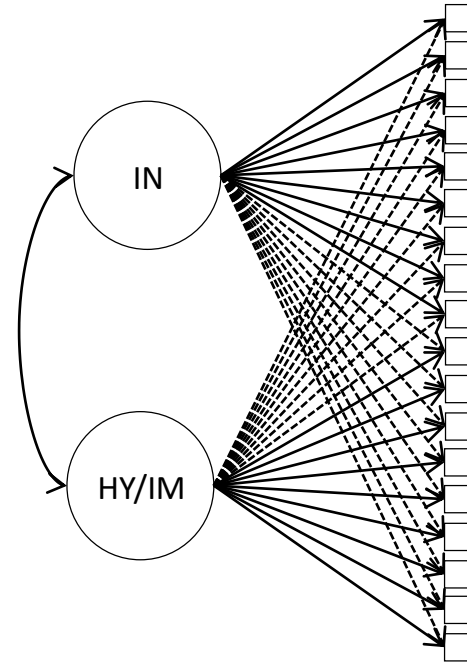
Primer problema del ICM-CFA: Restrictividad

- Un modelo con 5+ factores y 5+ items por factor casí NUNCA va a presentar un ajuste satisfactorio (Marsh et al., 2014).

El ICM-CFA asume que todas las cargas cruzadas son exactamente CERO

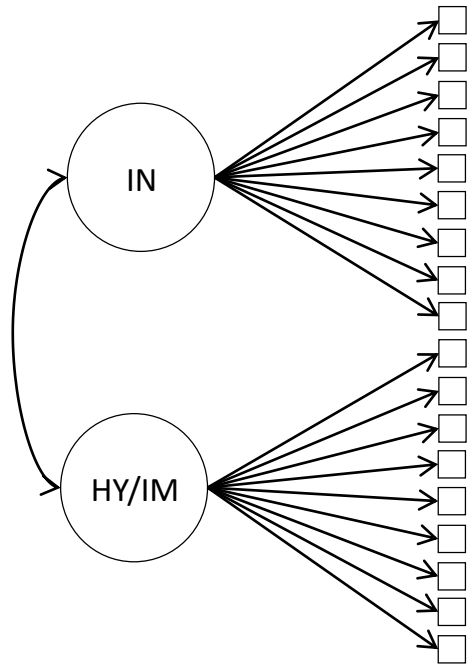


Modelo ICM-CFA

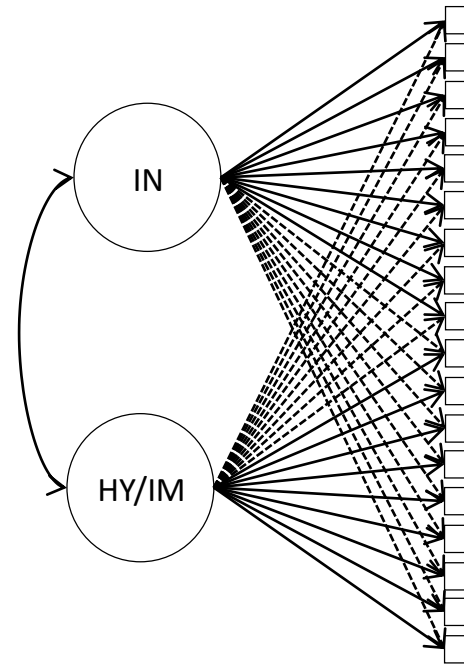


Modelo EFA/ESEM

Cada carga cruzada que en nuestros datos sea distinta de cero constituye un error de especificación

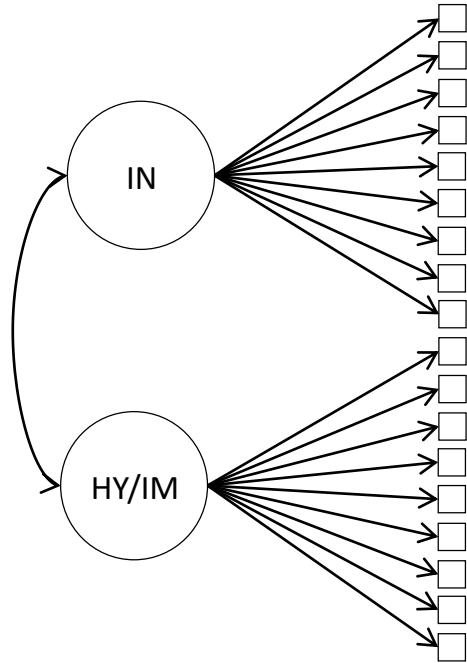


Modelo ICM-CFA

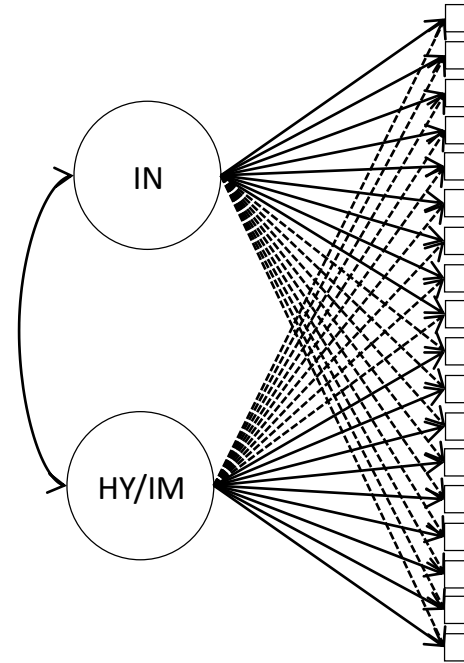


Modelo EFA/ESEM

- Cargas cruzadas cercanas a cero: errores pequeños
- Cargas cruzadas sustancialmente distintas de cero: errores grandes

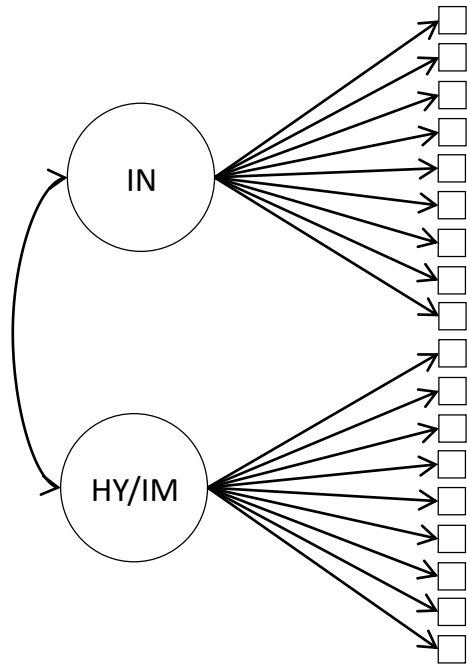


Modelo ICM-CFA

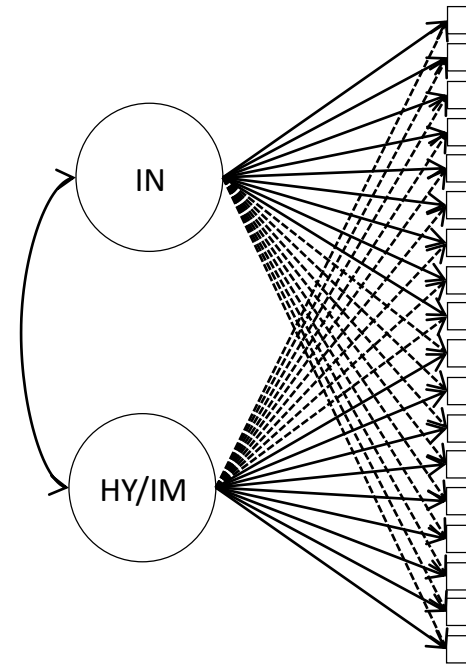


Modelo EFA/ESEM

Cada error de especificación contribuye de manera sumativa a deteriorar el ajuste del modelo

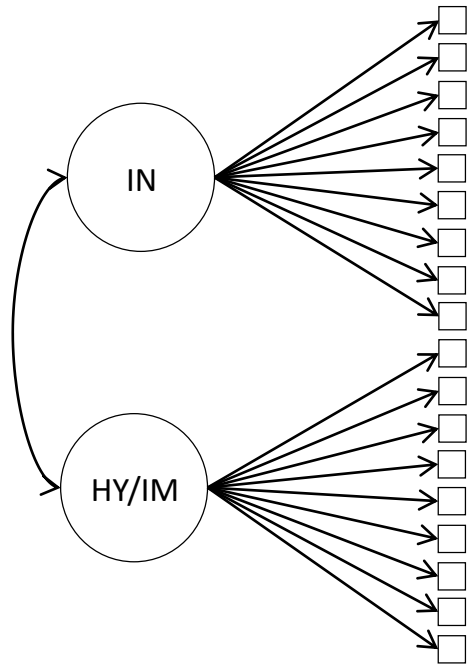


Modelo ICM-CFA



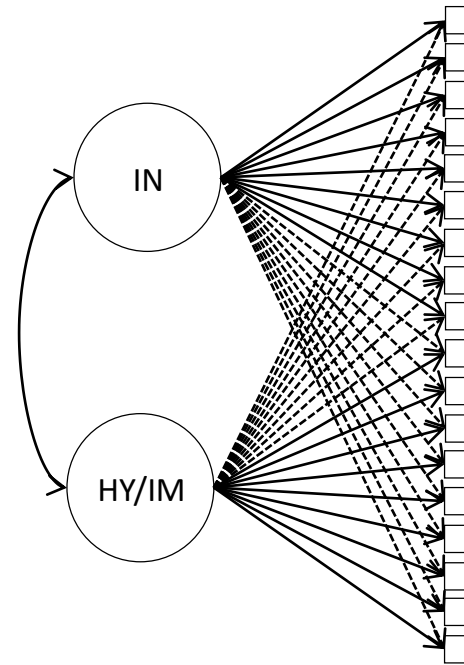
Modelo EFA/ESEM

Especificar en cero pocas cargas cruzadas pequeñas no suele tener gran impacto en el ajuste del modelo...



Modelo ICM-CFA

RMSEA=.056; CFI=.96



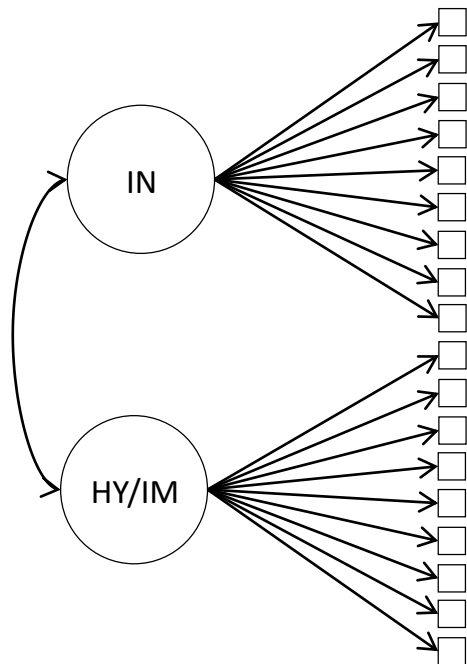
Modelo EFA/ESEM

RMSEA=.047; CFI=.97

...cuando el modelo tiene **pocos parámetros** a estimar

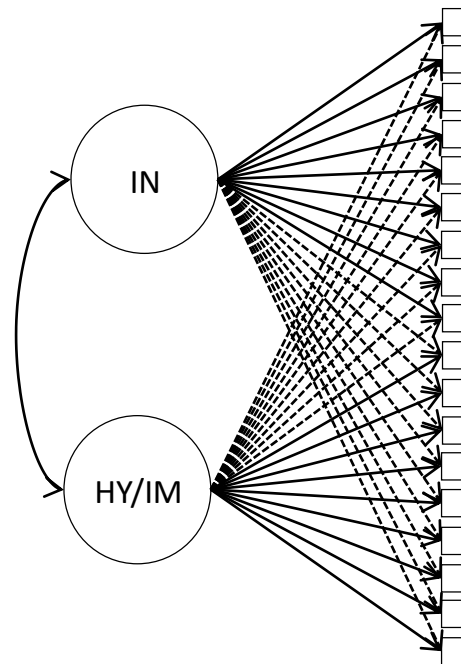
18 cargas primarias
0 cargas cruzadas
54 umbrales
1 correlación

TOTAL: 73



Modelo ICM-CFA

RMSEA=.056; CFI=.96



18 cargas primarias
18 cargas cruzadas
54 umbrales
1 correlación

TOTAL: 91

Modelo EFA/ESEM

RMSEA=.047; CFI=.97

- Supongamos una escala mas compleja...
- Escala Kids Life (Gómez, Verdugo, Arias et al., 2016)
 - 96 items con cuatro opciones de respuesta
 - 8 dimensiones (12 items por factor)
- Modelo ICM CFA: 96 cargas primarias, 288 umbrales, 28 correlaciones (412 parámetros a estimar)

- Cargas cruzadas fijadas en cero: 672
- 672 cargas cruzadas fijadas en cero son SIEMPRE **672 errores de especificación** del modelo

La acumulación de errores de especificación hace **IMPOSIBLE** que el modelo **confirmatorio** alcance los grados de ajuste recomendados en la literatura

- Da igual si las cargas cruzadas son en realidad cercanas a cero
- Da igual si la escala es buena
- Da igual si los datos son buenos
- Da igual si el modelo teórico es correcto

Con 672 errores de especificación, el modelo confirmatorio...

NO

AJUSTARÁ

BIEN

JANMÁS

Segundo problema del ICM-CFA: Potencial estimación sesgada de ciertos parámetros

- Fijar inapropiadamente una carga cruzada a cero hace que la varianza antes asumida por esa carga cruzada se redirija a la correlación entre los factores (Schmitt & Sass, 2011):
 - La correlación entre los factores (modelo oblicuo)
 - La varianza explicada por el factor general (modelo bifactor ortogonal)
- Esa(s) correlación(es) se infla, dando lugar a errores en la estimación del parámetro (y en consecuencia, en las conclusiones que se puedan extraer de los datos)
 - Lo veremos en un ejemplo

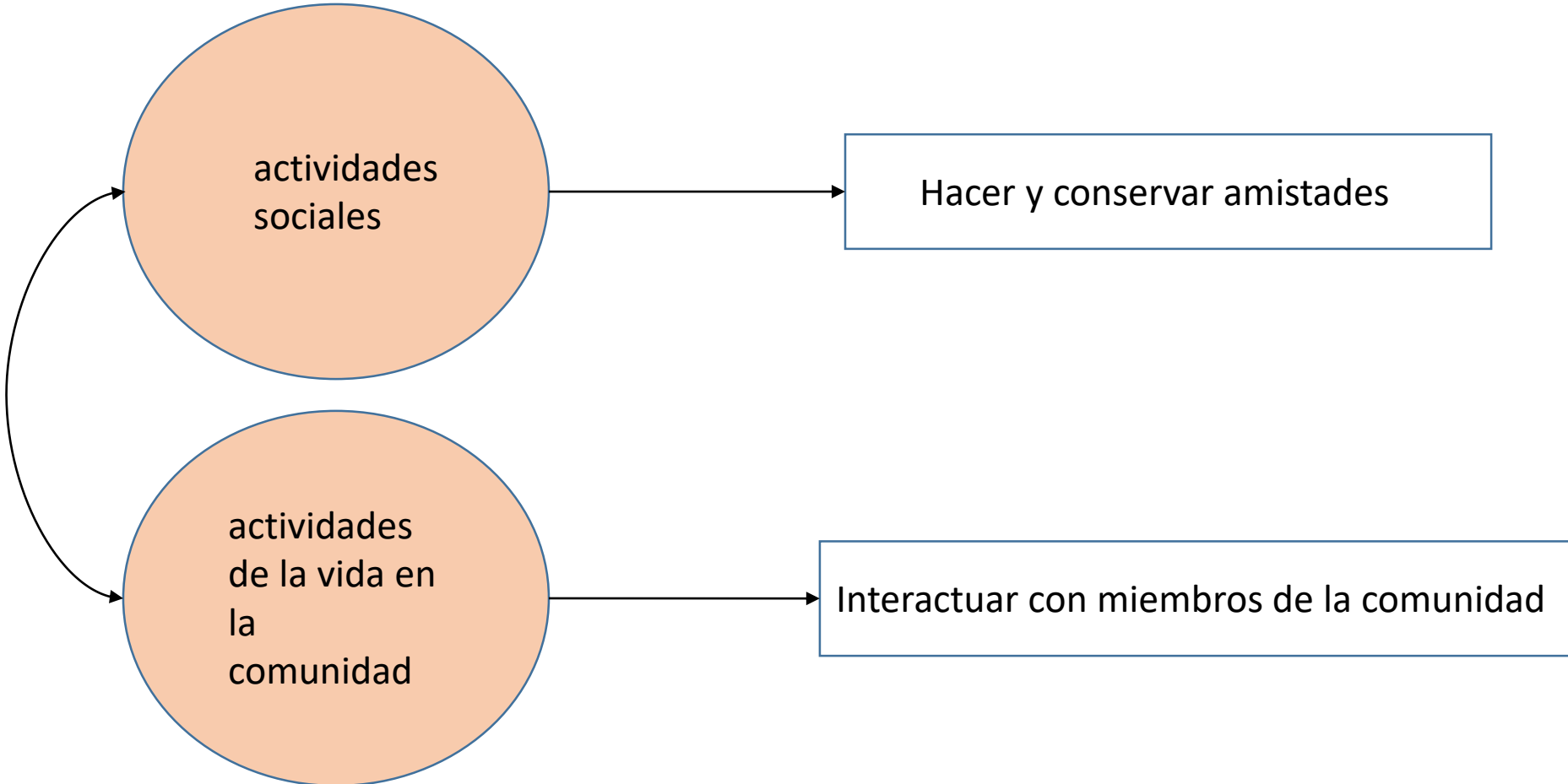
Tercer problema del ICM-CFA: Implausibilidad

- “Hacer y conservar amistades” (SIS; escala de actividades sociales)

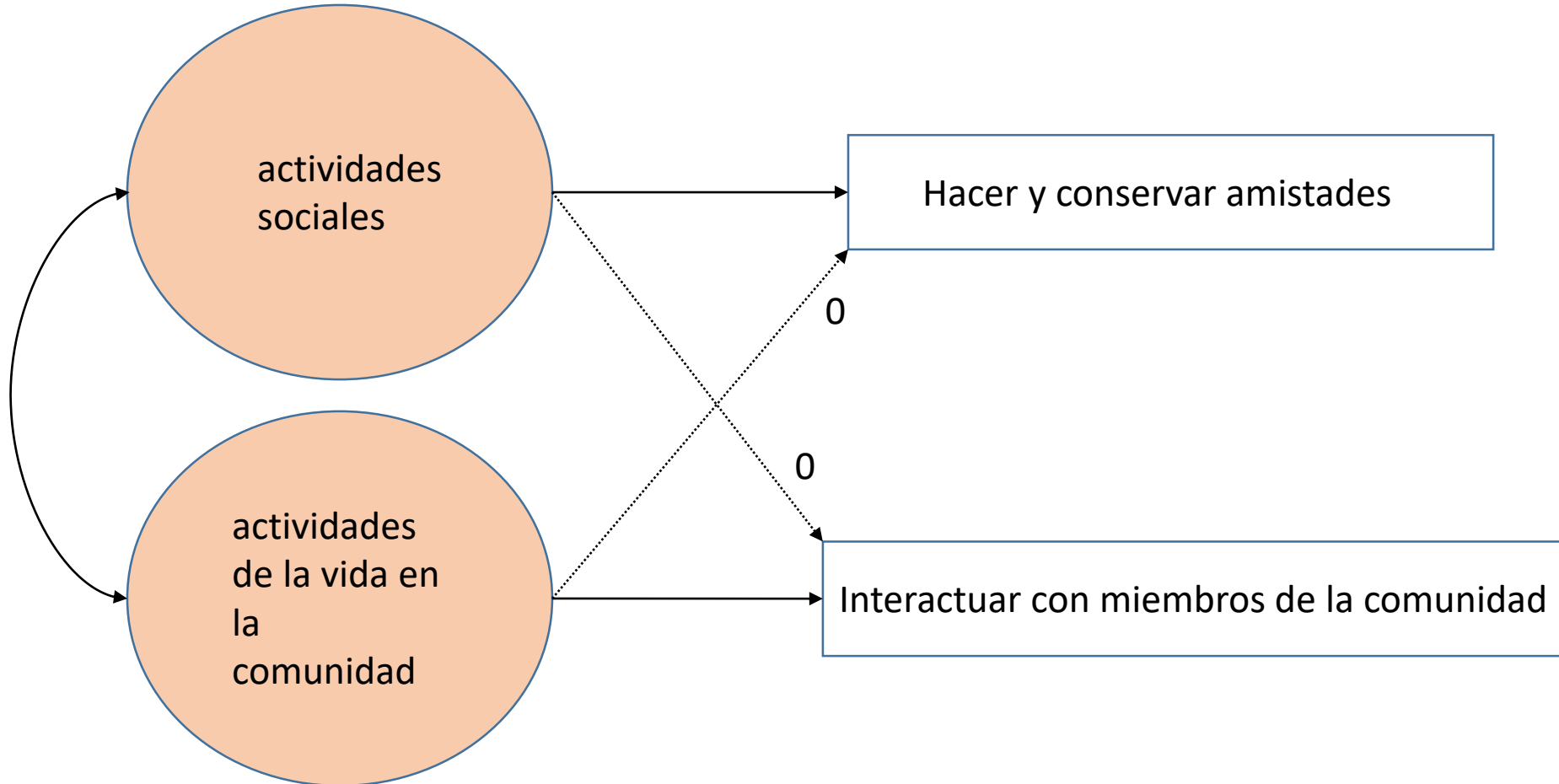
Tercer problema del ICM-CFA: Implausibilidad

- “Hacer y conservar amistades” (SIS; escala de actividades sociales)
- “Interactuar con miembros de la comunidad” (SIS; escala de actividades de la vida en la comunidad)

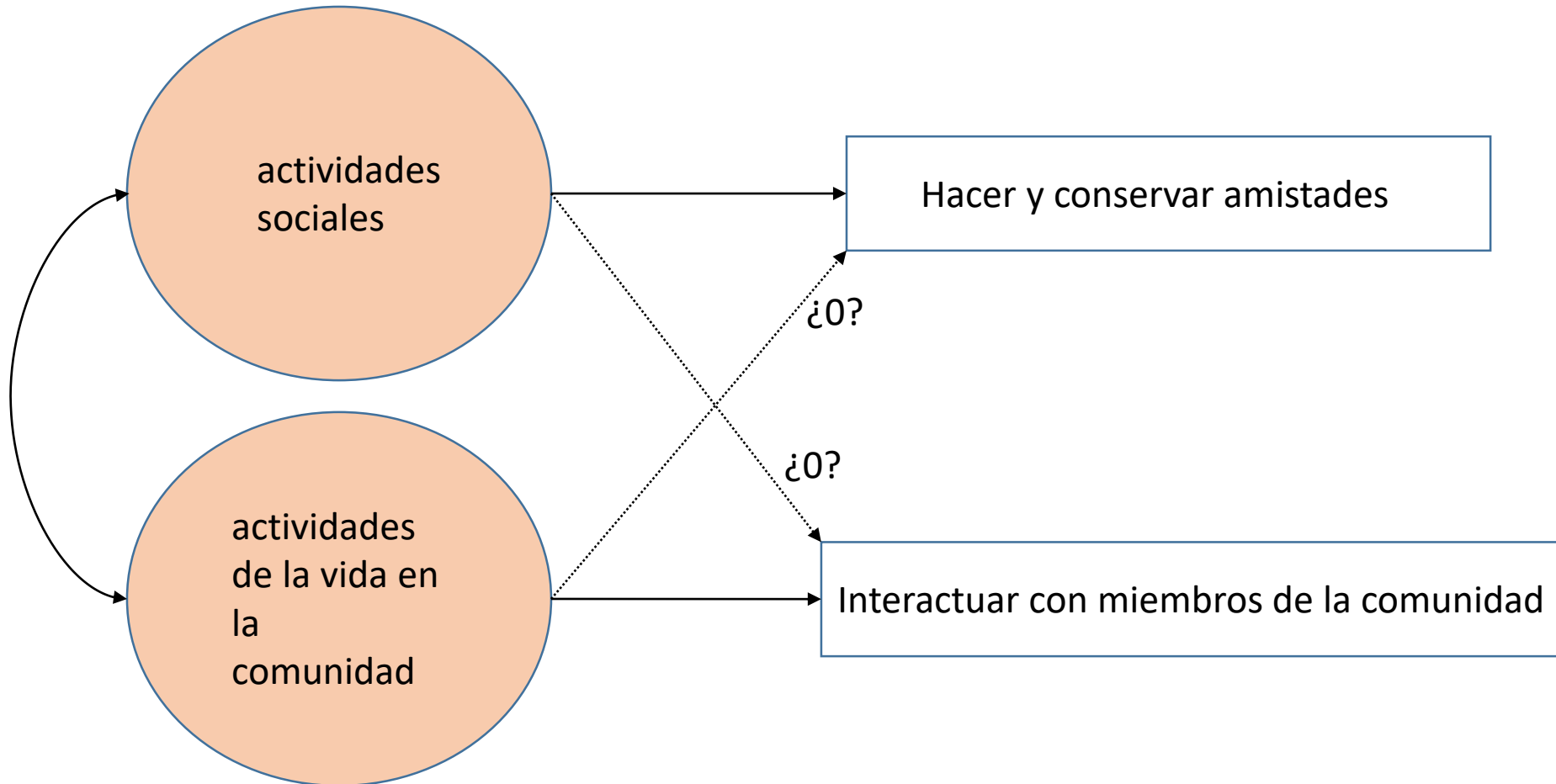
Tercer problema del ICM-CFA: Implausibilidad



Tercer problema del ICM-CFA: Implausibilidad



Tercer problema del ICM-CFA: Implausibilidad



ESEM

- El ESEM (Asparouhov & Muthen, 2009) es una integración del análisis factorial exploratorio y el análisis confirmatorio
- Estima todas las cargas cruzadas del modelo
- Tiene la flexibilidad del AFE
- con la potencia, versatilidad y capacidad para contrastar hipótesis del CFA

ESEM

- Permite hacer casi todo lo que se hace con CFA
 - Invarianza de medida
 - Modelos de medida complejos
 - Manipulación de parámetros
 - Modelos SEM de todo tipo

ESEM

- Da solución a los principales problemas del ICM-CFA
 - ¿Excesiva restrictividad? SOLUCIONADO
 - ¿Estimación sesgada de algunos parámetros? SOLUCIONADO
 - ¿Implausibilidad de algunas relaciones item-factor? SOLUCIONADO

Ejemplos en investigación aplicada

- Ejemplo 1: Aplicación de ESEM a la investigación en problemas del comportamiento en la escuela (trastorno por déficit de atención con hiperactividad)
- Ejemplo 2: Aplicación de ESEM a la investigación en Educación (Inteligencia emocional en escolares)

Ejemplo 1: Problemas del comportamiento en la escuela

i01. No presta atención suficiente a los detalles o incurre en errores por descuido en las tareas escolares, en el trabajo o en otras actividades.

i02. Tiene dificultades para mantener la atención en tareas o en actividades lúdicas.

i03. Parece no escuchar cuando se le habla directamente.

i04. No sigue instrucciones y no finaliza tareas escolares, encargos, u obligaciones en el centro de trabajo (no se debe a comportamiento negativista o a incapacidad para comprender instrucciones).

i05. Tiene dificultades para organizar tareas y actividades.

i06. Evita, le disgusta o es renuente en cuanto a dedicarse a tareas que requieren un esfuerzo mental sostenido (como trabajos escolares o domésticos).

i07. Extravía objetos necesarios para tareas o actividades (p. ej. juguetes, ejercicios escolares, lápices, libros o herramientas).

i08. Se distrae fácilmente por estímulos irrelevantes.

i09. Es descuidado en las actividades diarias.

i10. Mueve en exceso manos o pies, o se remueve en su asiento.

i11. Abandona su asiento en la clase o en otras situaciones en que se espera que permanezca sentado.

i12. Corre o salta excesivamente en situaciones en que es inapropiado hacerlo (en adolescentes o adultos puede limitarse a sentimientos subjetivos de inquietud).

i13. Tiene dificultades para jugar o dedicarse tranquilamente a actividades de ocio.

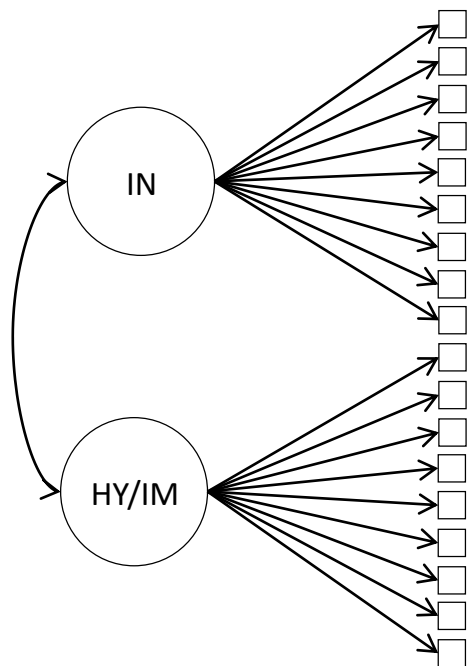
i14. "Está en marcha" o suele actuar como si tuviera un motor.

i15. Habla en exceso.

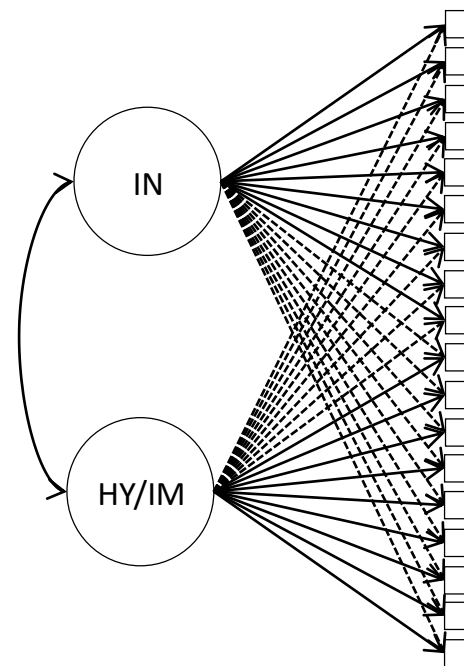
i16. Precipita respuestas antes de haber sido completadas las preguntas.

i17. Tiene dificultades para guardar turno.

i18. Interrumpe o se inmiscuye en las actividades de otros (p. ej. se entromete en conversaciones o juegos).



Modelo ICM-CFA



Modelo ESEM

Adaptado de: Arias, V. B., Ponce, F. P., Martínez-Molina, A., Arias, B., & Núñez, D. (2016). General and specific attention-deficit/hyperactivity disorder factors of children 4 to 6 years of age: An exploratory structural equation modeling approach to assessing symptom multidimensionality. *Journal of abnormal psychology, 125*(1), 125.

Cargas factoriales estandarizadas (modelo CFA)

	DA	HI
D1	0.751	0
D2	0.727	0
D3	0.735	0
D4	0.762	0
D5	0.783	0
D6	0.777	0
D7	0.604	0
D8	0.818	0
D9	0.781	0
H1	0	0.811
H2	0	0.832
H3	0	0.851
H4	0	0.732
H5	0	0.789
H6	0	0.612
H7	0	0.573
H8	0	0.732
H9	0	0.700

Cargas factoriales estandarizadas (modelo ESEM)

	DA	HI
D1	0.784	-0.026
D2	0.677	0.068
D3	0.524	0.243
D4	0.794	-0.022
D5	0.882	-0.101
D6	0.793	-0.009
D7	0.650	-0.041
D8	0.691	0.152
D9	0.714	0.085
H1	-0.039	0.850
H2	0.060	0.785
H3	-0.025	0.881
H4	0.446	0.314
H5	-0.140	0.918
H6	-0.129	0.738
H7	0.043	0.543
H8	0.103	0.647
H9	0.122	0.596

Las cargas cruzadas en su conjunto explican el **2%** de la varianza total contenida en los datos

Willcutt et al. (2012)

i01. No presta atención suficiente a los detalles o incurre en errores por descuido en las tareas escolares, en el trabajo o en otras actividades.

i02. Tiene dificultades para mantener la atención en tareas o en actividades lúdicas.

i03. Parece no escuchar cuando se le habla directamente.

i04. No sigue instrucciones y no finaliza tareas escolares, encargos, u obligaciones en el centro de trabajo (no se debe a comportamiento negativista o a incapacidad para comprender instrucciones).

i05. Tiene dificultades para organizar tareas y actividades.

i06. Evita, le disgusta o es renuente en cuanto a dedicarse a tareas que requieren un esfuerzo mental sostenido (como trabajos escolares o domésticos).

i07. Extravía objetos necesarios para tareas o actividades (p. ej. juguetes, ejercicios escolares, lápices, libros o herramientas).

i08. Se distrae fácilmente por estímulos irrelevantes.

i09. Es descuidado en las actividades diarias.

i10. Mueve en exceso manos o pies, o se remueve en su asiento.

i11. Abandona su asiento en la clase o en otras situaciones en que se espera que permanezca sentado.

i12. Corre o salta excesivamente en situaciones en que es inapropiado hacerlo (en adolescentes o adultos puede limitarse a sentimientos subjetivos de inquietud).

i13. Tiene dificultades para jugar o dedicarse tranquilamente a actividades de ocio.

i14. "Está en marcha" o suele actuar como si tuviera un motor.

i15. Habla en exceso.

i16. Precipita respuestas antes de haber sido completadas las preguntas.

i17. Tiene dificultades para guardar turno.

i18. Interrumpe o se inmiscuye en las actividades de otros (p. ej. se entromete en conversaciones o juegos).

¿Las cargas en su conjunto son similares?

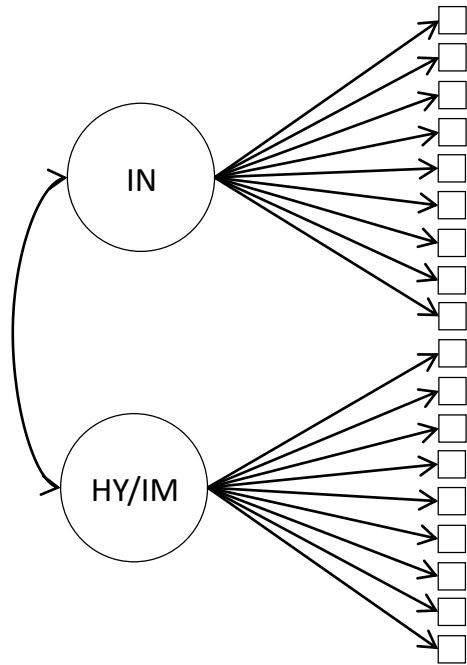
	DA	HI		DA	HI
D1	0.751	0	D1	0.784	-0.026
D2	0.727	0	D2	0.677	0.068
D3	0.735	0	D3	0.524	0.243
D4	0.762	0	D4	0.794	-0.022
D5	0.783	0	D5	0.882	-0.101
D6	0.777	0	D6	0.793	-0.009
D7	0.604	0	D7	0.650	-0.041
D8	0.818	0	D8	0.691	0.152
D9	0.781	0	D9	0.714	0.085
H1	0	0.811	H1	-0.039	0.850
H2	0	0.832	H2	0.060	0.785
H3	0	0.851	H3	-0.025	0.881
H4	0	0.732	H4	0.446	0.314
H5	0	0.789	H5	-0.140	0.918
H6	0	0.612	H6	-0.129	0.738
H7	0	0.573	H7	0.043	0.543
H8	0	0.732	H8	0.103	0.647
H9	0	0.700	H9	0.122	0.596

CC = .96 (DA)

CC = .97 (HI)

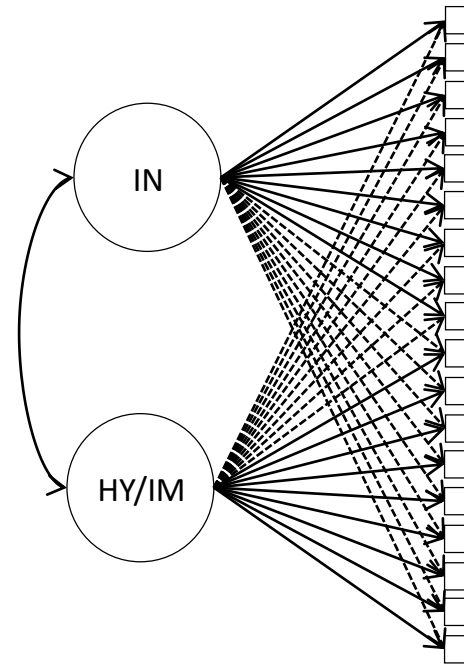
	DA	HI		DA	HI
D1	0.751	0	D1	0.784	-0.026
D2	0.727	0	D2	0.677	0.068
D3	0.735	0	D3	0.524	0.243
D4	0.762	0	D4	0.794	-0.022
D5	0.783	0	D5	0.882	-0.101
D6	0.777	0	D6	0.793	-0.009
D7	0.604	0	D7	0.650	-0.041
D8	0.818	0	D8	0.691	0.152
D9	0.781	0	D9	0.714	0.085
H1	0	0.811	H1	-0.039	0.850
H2	0	0.832	H2	0.060	0.785
H3	0	0.851	H3	-0.025	0.881
H4	0	0.732	H4	0.446	0.314
H5	0	0.789	H5	-0.140	0.918
H6	0	0.612	H6	-0.129	0.738
H7	0	0.573	H7	0.043	0.543
H8	0	0.732	H8	0.103	0.647
H9	0	0.700	H9	0.122	0.596

Especificar en cero pocas cargas cruzadas **pequeñas** no suele tener gran impacto en el ajuste del modelo...



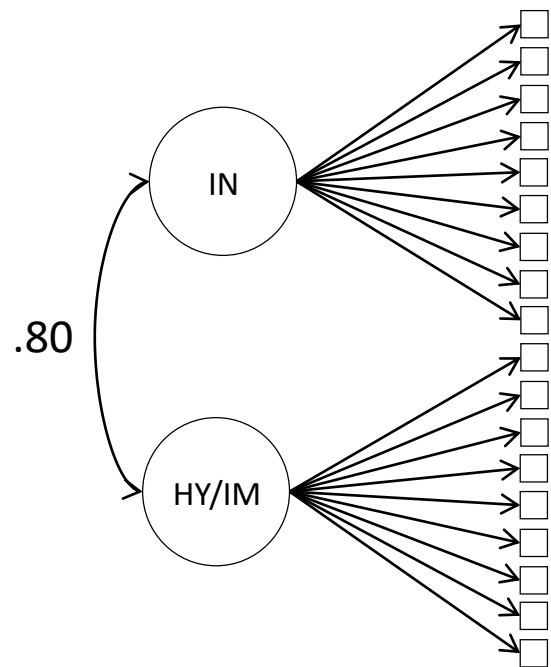
Modelo ICM-CFA

RMSEA=.056; CFI=.96

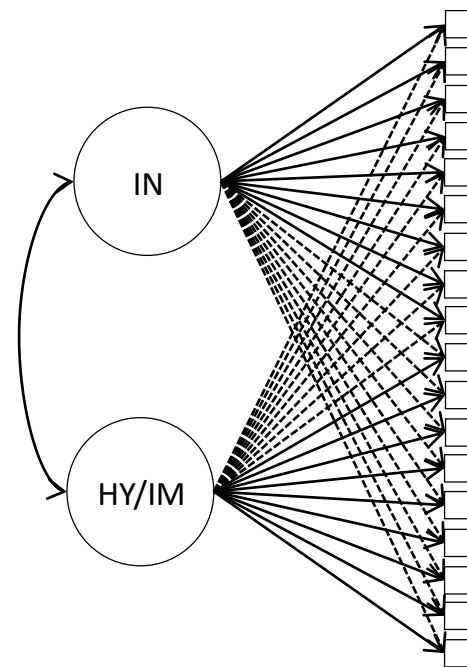


Modelo EFA/ESEM

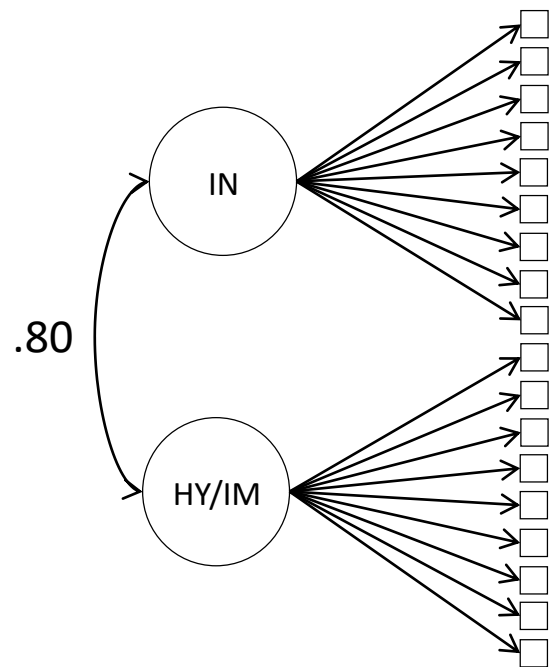
RMSEA=.047; CFI=.97



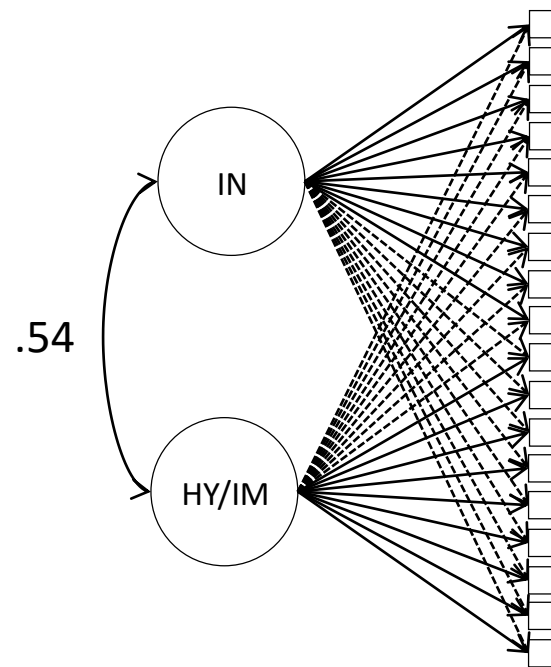
Modelo ICM-CFA



Modelo ESEM

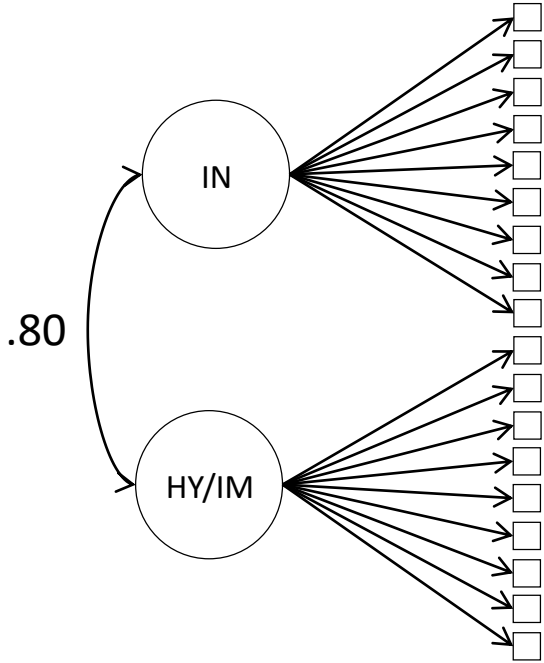


Modelo ICM-CFA

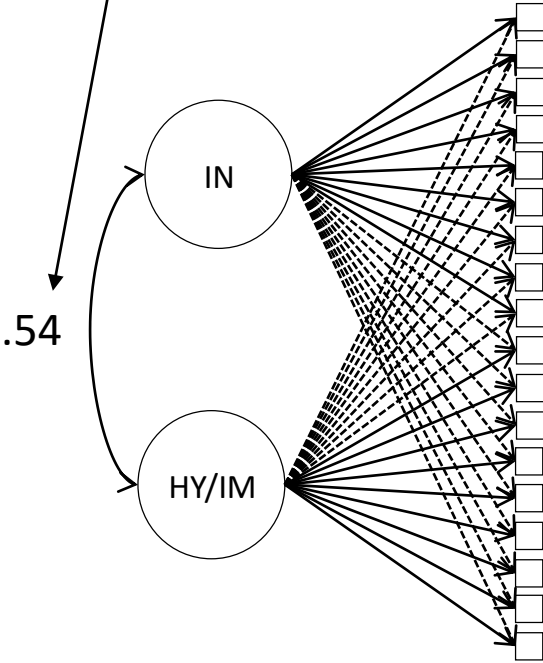


Modelo ESEM

De acuerdo con estudios previos en neurología (e.g., Burns et al., 2014)



Modelo ICM-CFA



Modelo ESEM

Ejemplo 2: Aplicación a un estudio en Educación

Esnaola, I., Arias, V., Freeman, J., Wang, Y., & Arias, B. (2017). Validity evidence based on Internal Structure of Scores of the Emotional Quotient-inventory: Youth Version short (EQ-i: YV-S) in a Chinese sample. *Journal of Psychoeducational Assessment*.

Ejemplo 2: Aplicación a un estudio en Educación

Bar-On (1997) defines Emotional Social Intelligence (ESI) as an interrelated set of **competencies, emotional and social skills**, and emotional facilitators that determine how effectively we **understand and express ourselves**, how we **understand others** and relate to them, and how we **face everyday demands**.

Ejemplo 2: Aplicación a un estudio en Educación

- Evaluación longitudinal (1 curso académico) de la inteligencia emocional en adolescentes chinos
- 406 alumnos
- 12-16 años

Instrumento

- *EQ-i: YV-S* (Emotional Quotient Inventory for Youth Version Short) (Bar-On & Parker, 2000)
 - self-report measure designed to measure EI of children and adolescents (7-18)
 - 30 items measuring four dimensions: *interpersonal, intrapersonal, stress management, and adaptability*.
 - With the sum of the first four main factors, a score of **overall EI** can be obtained.
 - The *positive impression* subscale was created to measure how much the subjects distort their responses in terms of the effect of social desirability.

Objetivos

- Objetivo 1: Investigar la estructura de la inteligencia emocional
- Objetivo 2: Investigar el efecto de la deseabilidad social en la evaluación de la EI
- Objetivo 3: Investigar la estabilidad temporal de la EI

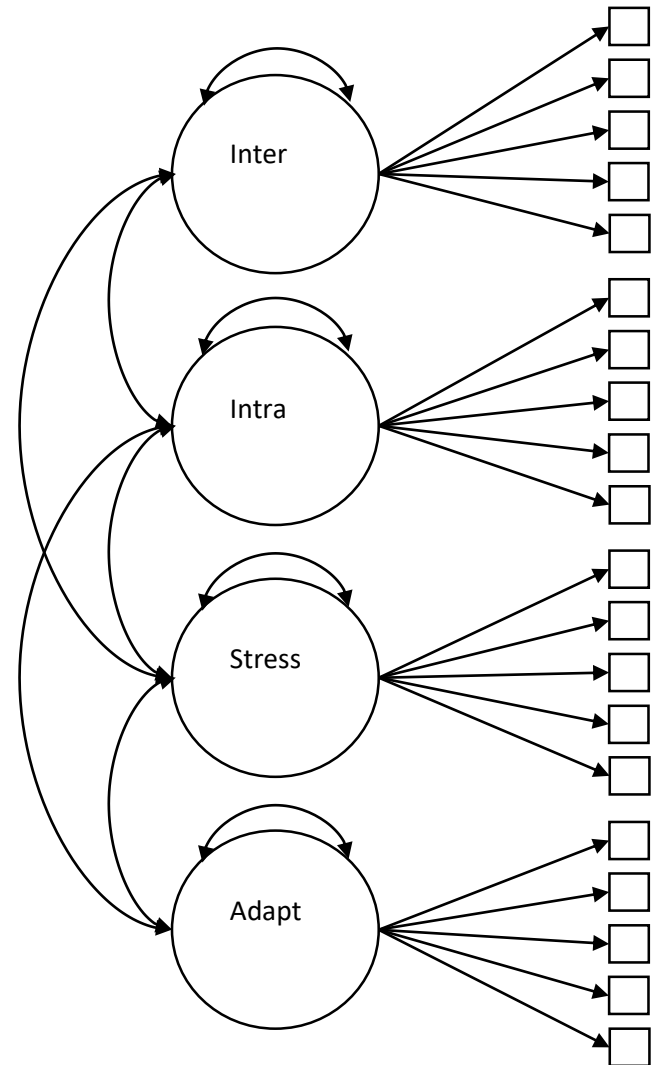
Objetivo 1: Investigar la estructura de la EI

Inter: Inteligencia interpersonal

Intra: Inteligencia intrapersonal

Stress: Manejo del estrés

Adapt: Capacidad de adaptación



Hipótesis: La EI consiste en 4 dimensiones relacionadas pero separables

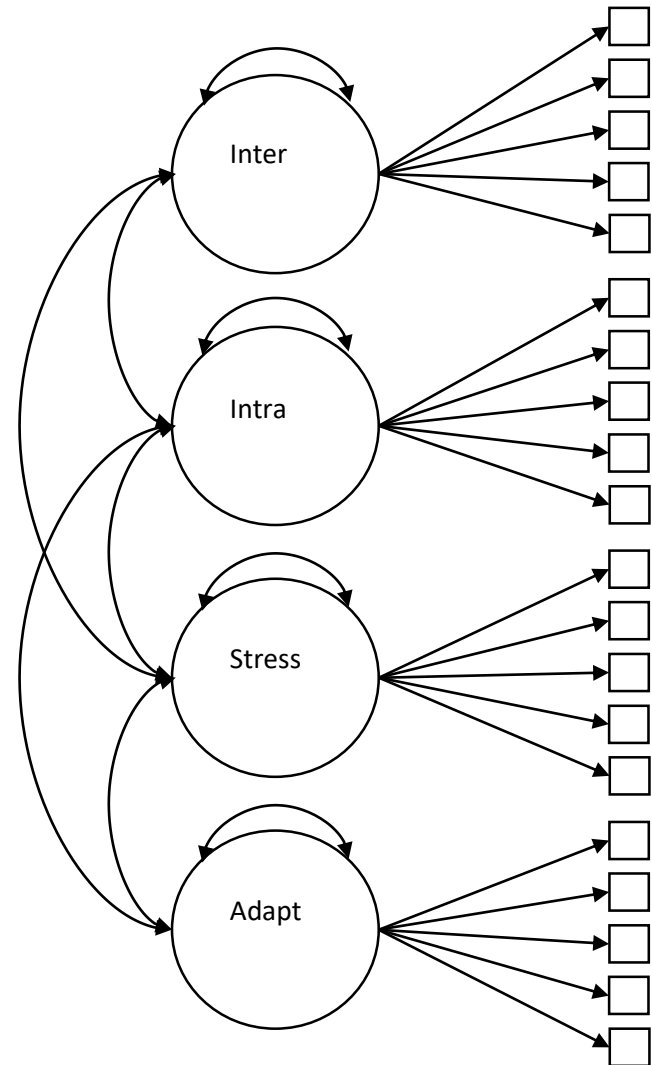
Objetivo 1: Investigar la estructura de la EI

Inter: Inteligencia interpersonal

Intra: Inteligencia intrapersonal

Stress: Manejo del estrés

Adapt: Capacidad de adaptación



RMSEA=.109

CFI=.812

Hipótesis: La EI consiste en 4 dimensiones relacionadas pero separables

Objetivo 1: Investigar la estructura de la EI

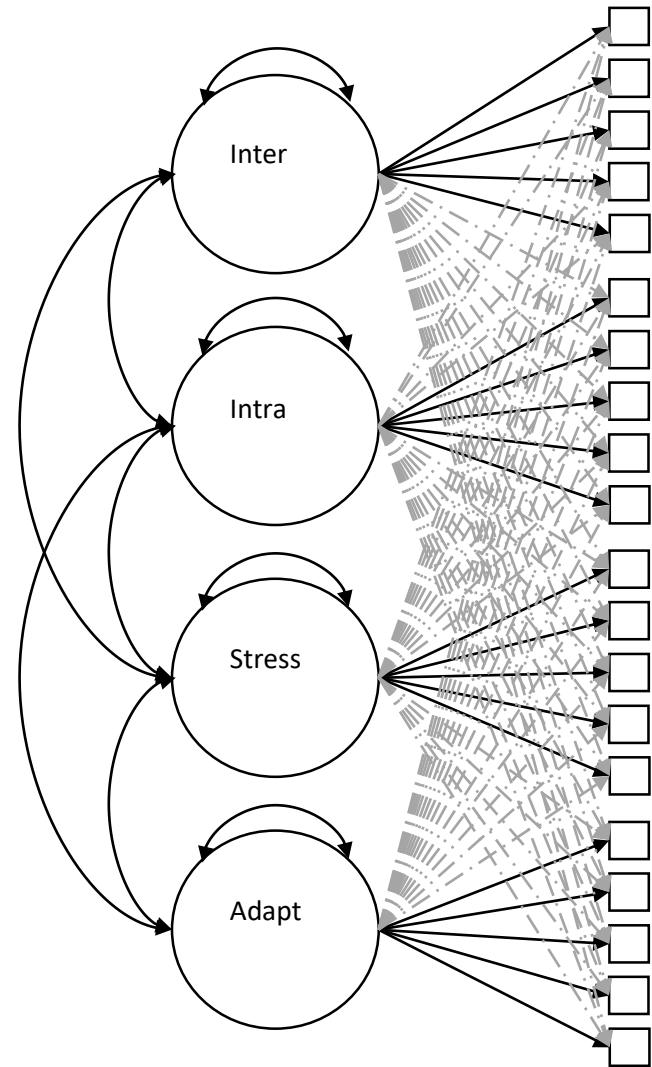
Inter: Inteligencia interpersonal

Intra: Inteligencia intrapersonal

Stress: Manejo del estrés

Adapt: Capacidad de adaptación

RMSEA=.026
CFI=.990



2,3% de la varianza común explicada por los cross-loadings

Dos items malos

Objetivo 1: Investigar la estructura de la EI

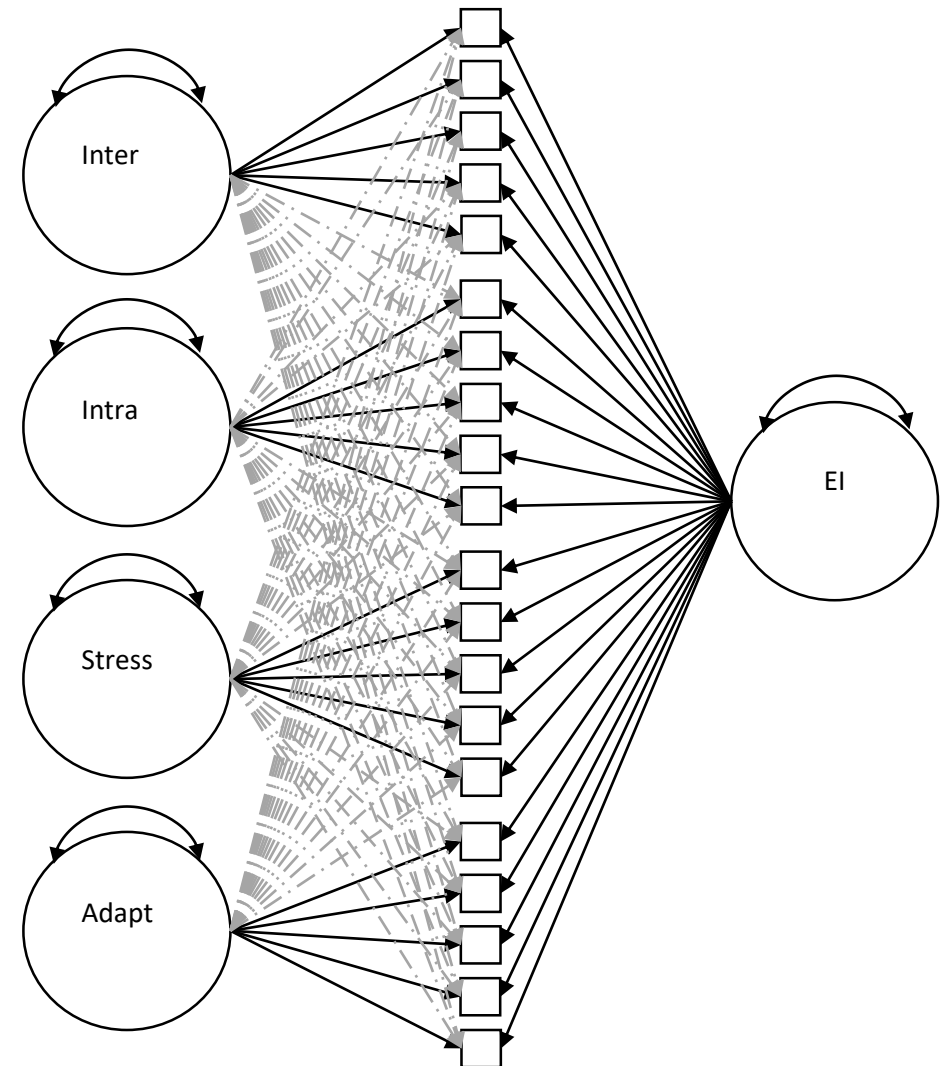
Inter: Inteligencia interpersonal

Intra: Inteligencia intrapersonal

Stress: Manejo del estrés

Adapt: Capacidad de adaptación

Hipótesis: La EI consiste en una dimensión general y 4 facetas específicas



Objetivo 1: Investigar la estructura de la EI

Inter: Inteligencia interpersonal

Intra: Inteligencia intrapersonal

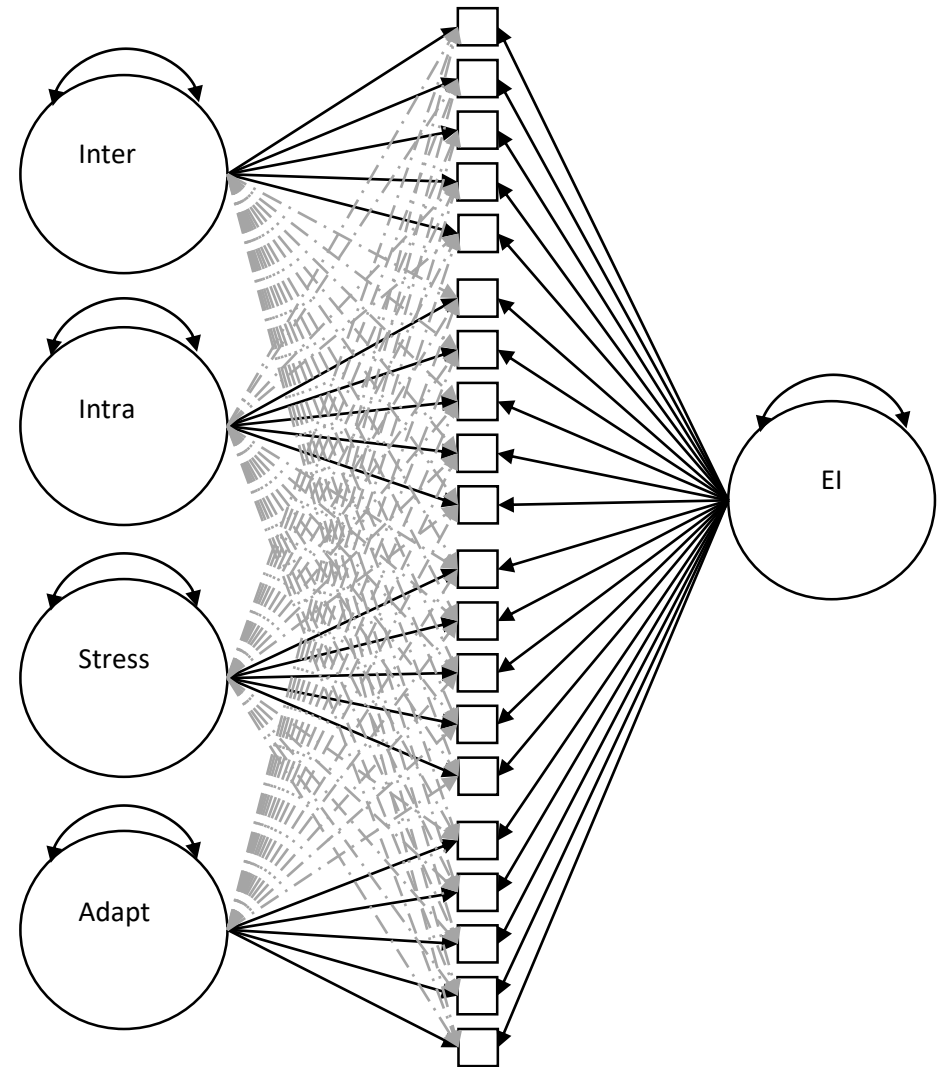
Stress: Manejo del estrés

Adapt: Capacidad de adaptación

RMSEA=.022

CFI=.996

Hipótesis: La EI consiste en una dimensión general y 4 facetas específicas



Objetivo 1: Investigar la estructura de la EI

Inter: Inteligencia interpersonal

Intra: Inteligencia intrapersonal

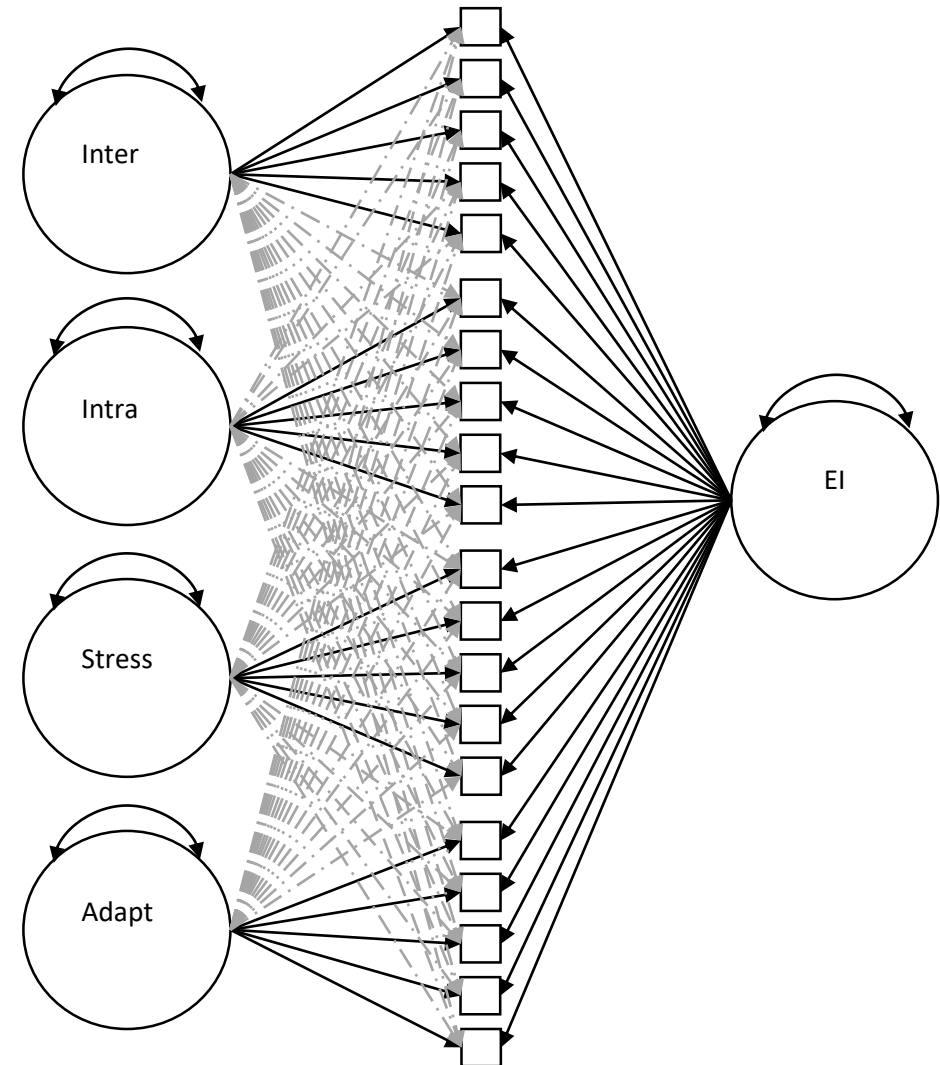
Stress: Manejo del estrés

Adapt: Capacidad de adaptación

El factor general de EI explicó el **7,3%** de la varianza común: no podemos aceptar la hipótesis de una EI general

Las dimensiones específicas explicaron el **92,7%** de la varianza común

No hay (en esta muestra) evidencia empírica de la existencia de una inteligencia emocional general



Objetivo 1: Investigar la estructura de la EI

Inter: Inteligencia interpersonal

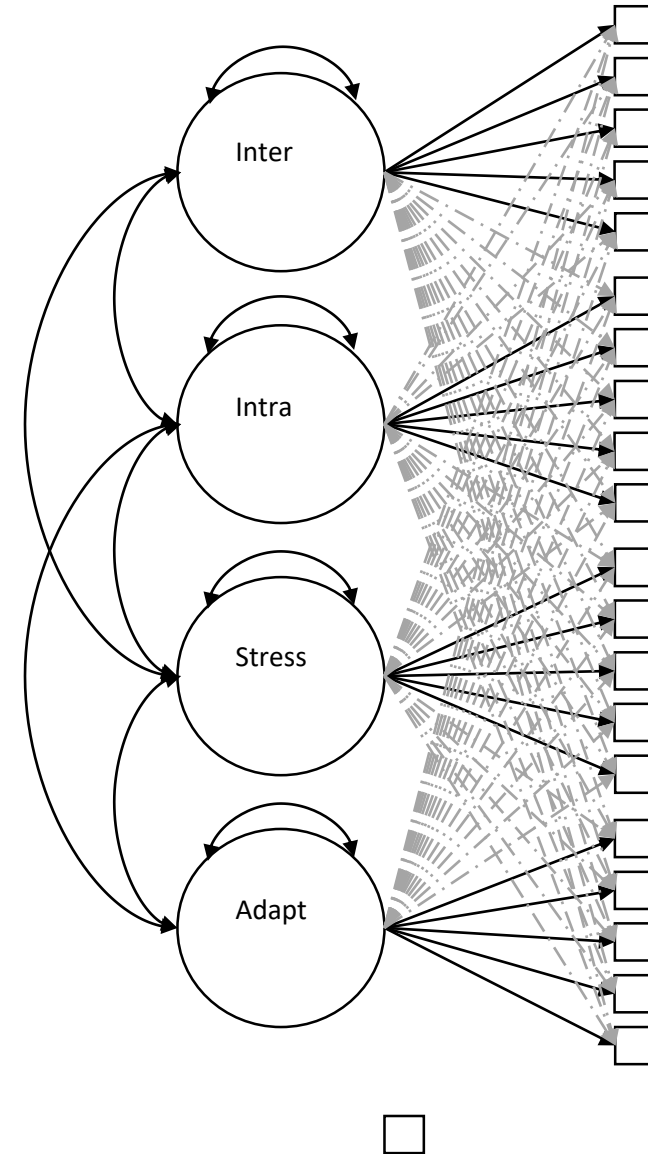
Intra: Inteligencia intrapersonal

Stress: Manejo del estrés

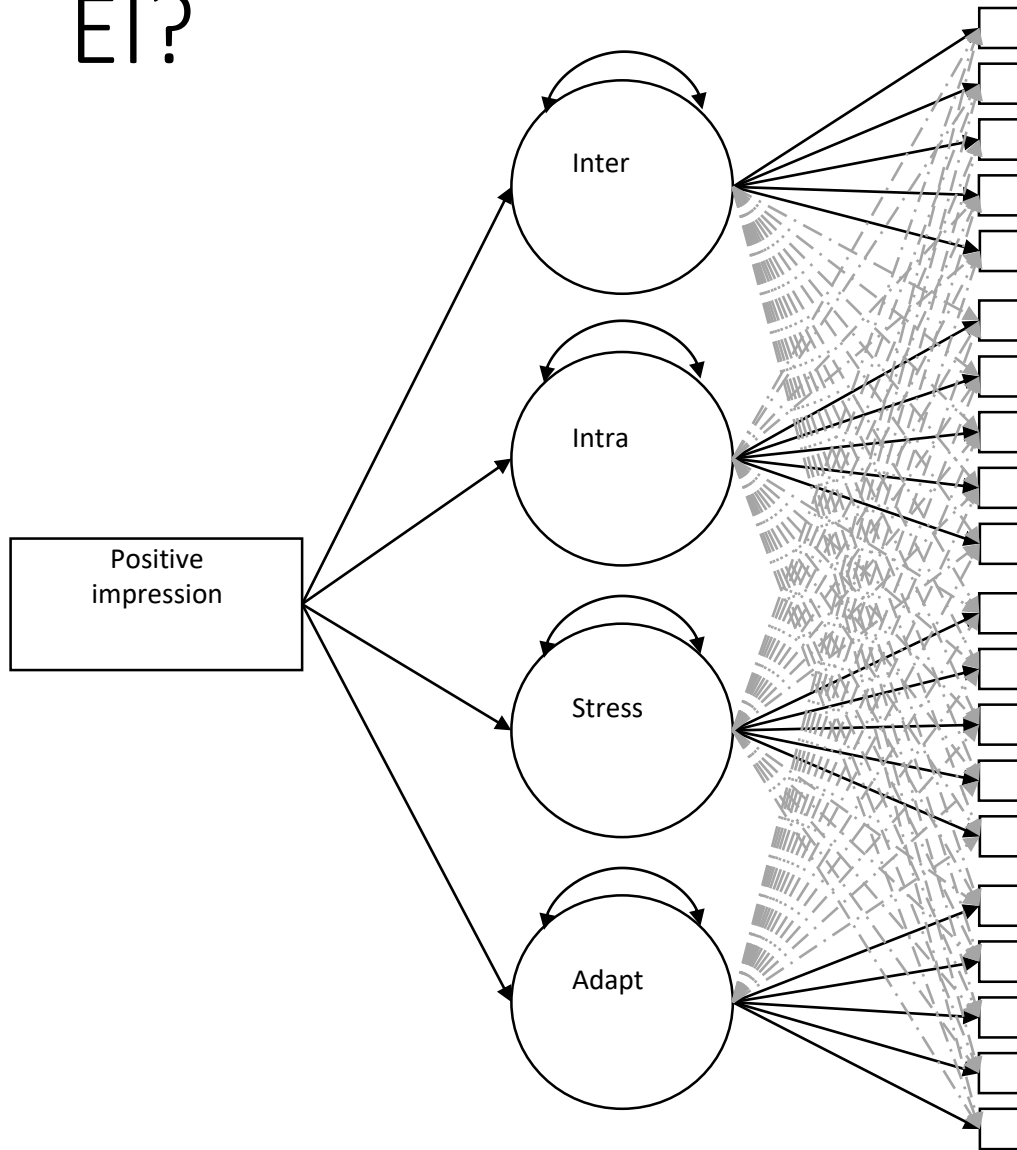
Adapt: Capacidad de adaptación

La escala debe recibir 4 puntuaciones, no una como recomienda su autor

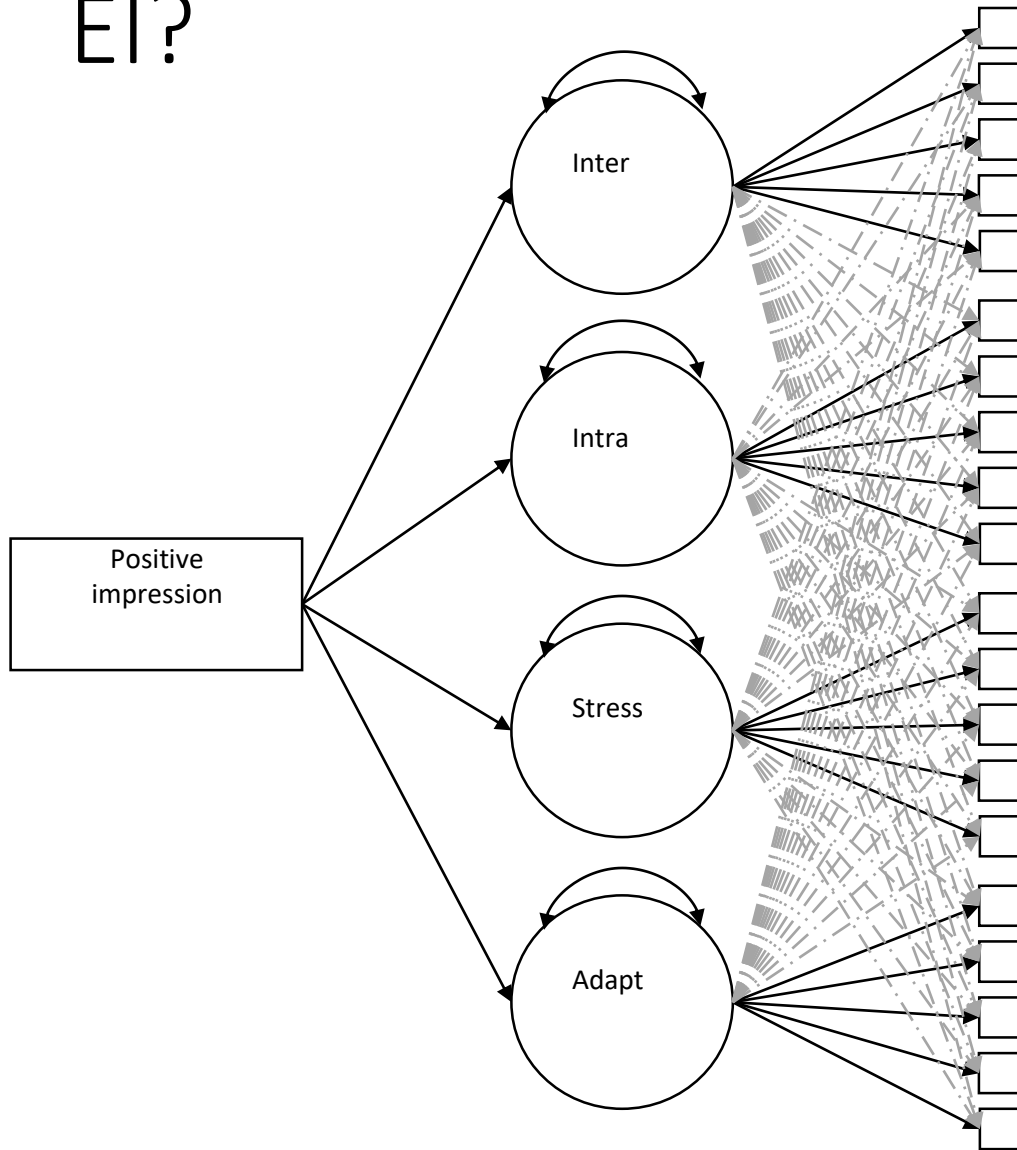
Es posible que cada rasgo de EI tenga impacto muy distinto en otros criterios (e.g., rendimiento escolar, relaciones entre pares, etc)



Objetivo 2: ¿Hasta qué punto la deseabilidad social del adolescente contamina la medida de la EI?

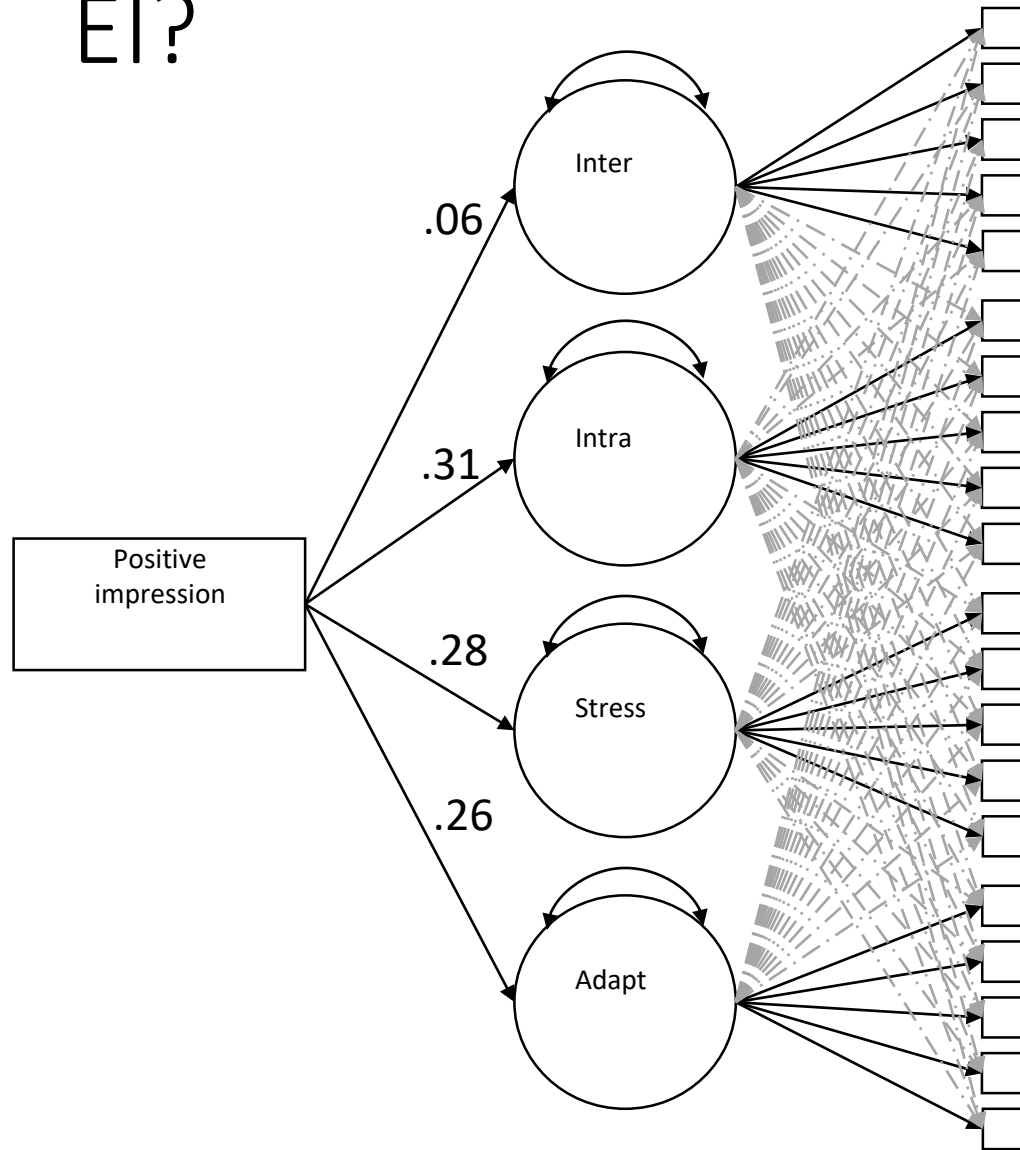


Objetivo 2: ¿Hasta qué punto la deseabilidad social del adolescente contamina la medida de la EI?



Modelo de múltiples indicadores-múltiples causas (MIMIC)

Objetivo 2: ¿Hasta qué punto la deseabilidad social del adolescente contamina la medida de la EI?



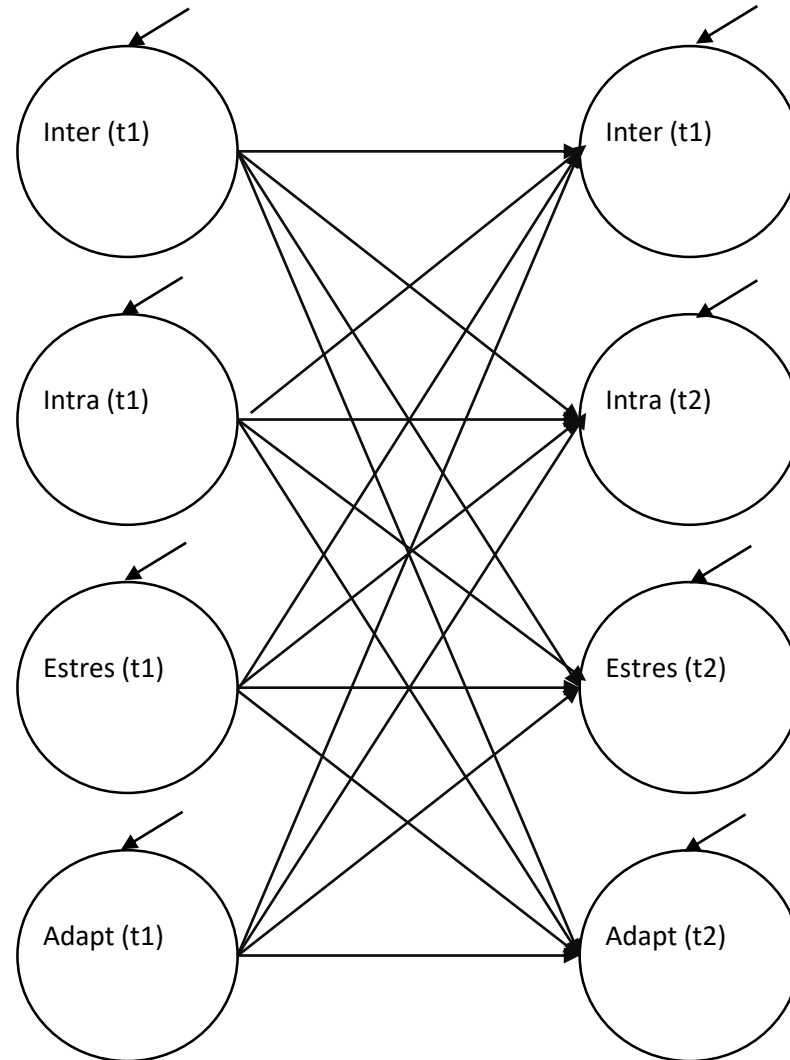
Modelo de múltiples indicadores-múltiples causas (MIMIC)

Objetivo 3: ¿Es la EI un rasgo estable en el tiempo?

- Los rasgos de EI tienden a ser estables en adultos (Petrides et al., 2007)
 - En adolescentes, no hay apenas información longitudinal
 - La investigación apunta a que en edades tempranas la EI es mas flexible que en la edad adulta (Keefer et al., 2013)
 - Si la EI es flexible, es potencialmente susceptible a intervención educativa

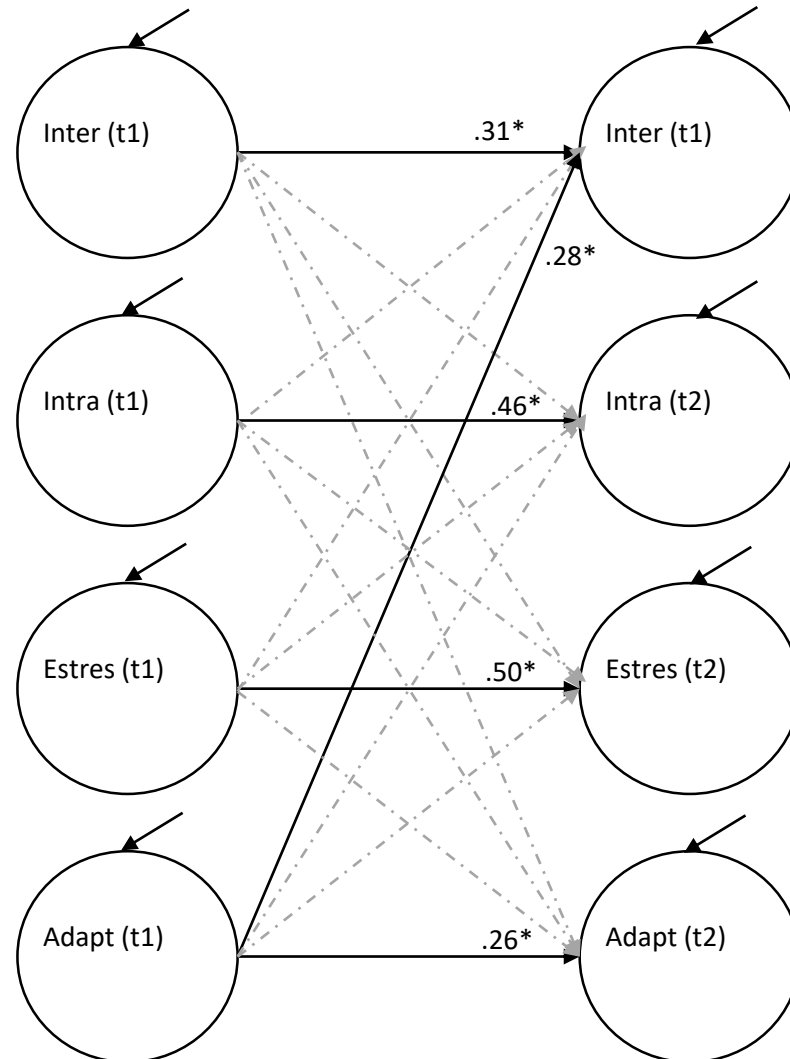
Objetivo 3: ¿Es la EI un rasgo estable en el tiempo?

Modelo SEM exploratorio



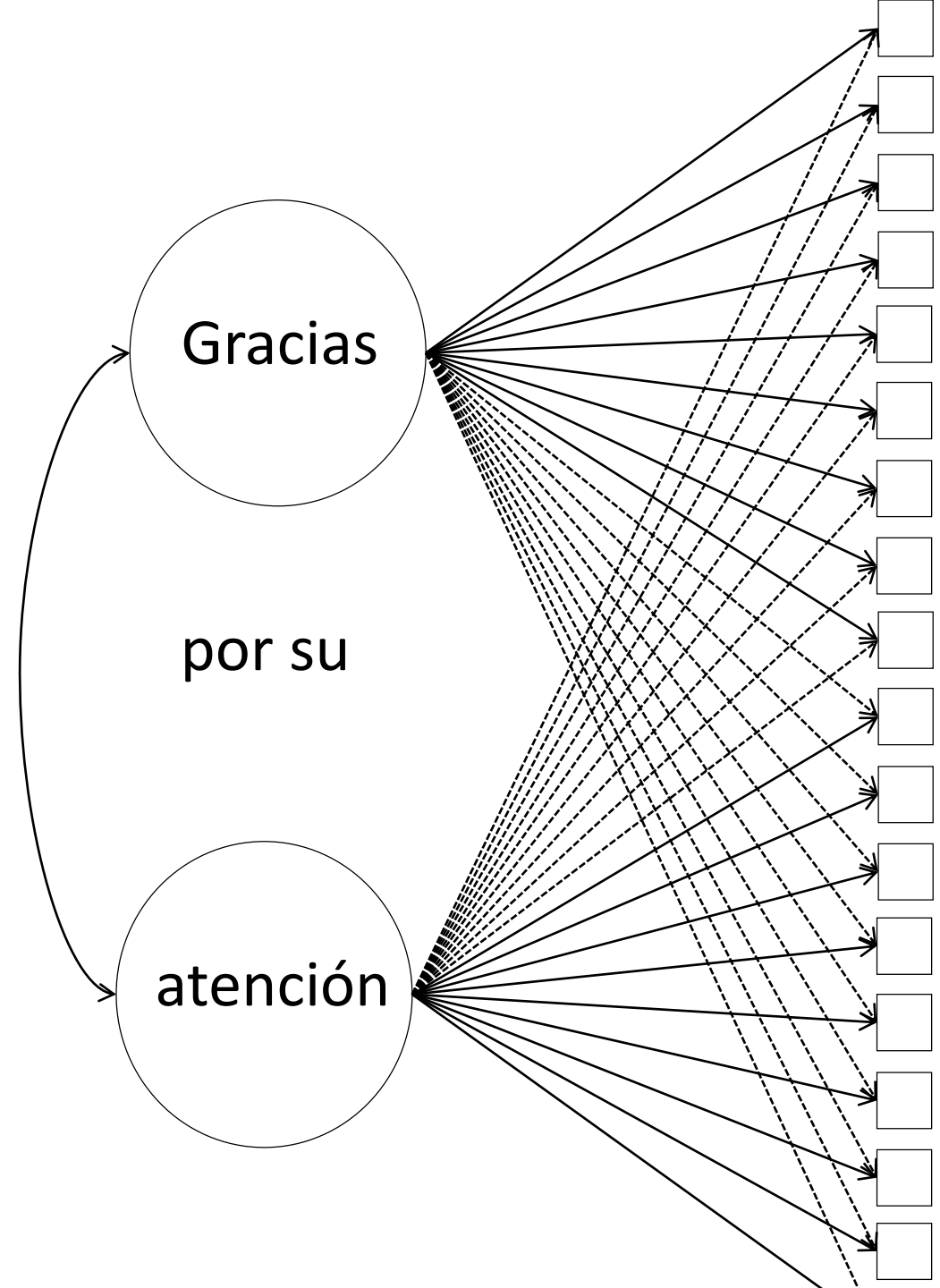
Objetivo 3: ¿Es la EI un rasgo estable en el tiempo?

Modelo SEM exploratorio



ESEM: Problemas

- Indeterminación rotacional
 - Parcialmente solucionado con rotación target
- Imposibilidad de manipular ciertos parámetros de forma aislada
 - Parcialmente solucionado con ESEM within CFA
- Modelos complejos = muestras grandes
 - Kids Life, modelo ESEM para variables categóricas: 1048 parámetros
 - Muestra óptima: $1048 \times 5 = 5240$ niños con discapacidad intelectual
 - En vías de solución (Bayesian ESEM)



Gracias

por su

atención