

# Metaheurísticas

Unidad 2

Metaheurísticas basadas en Trayectorias

## Tema 3: Trayectorias Múltiples

# Objetivos

- Describir las características de los métodos de búsqueda local multiarranque
- Estudiar los diferentes enfoques existentes en búsquedas de entorno variable aplicados a trayectorias multiarranque
- Conocer los algoritmos básicos multiarranque, así como los algoritmos GRASP, ILS y VNS



# Bibliografía

[Glo03] F. Glover, G.A. Kochenberger. Handbook of Metaheuristics. Kluwer Acad., 2003. Cap. 12. Multi-start Methods, Rafael Martí, 355-368. Cap. 8. Greedy Randomized Adaptive Search Procedure. (M.G.C. Resende, C.S. Ribeiro), 331-240. Cap. 6. Variable Neighborhood Search, P.Hansen, N. Mladenovic, 145-184. Cap. 11. Iterated Local Search, H.R. Lourenço, O.C. Martin, T. Stützle, 321-353

**[Mar03] R. Martí, J. Marcos Moreno. Métodos Multiarranque. Inteligencia Artificial 19 (2003) 49-60**

**[Han03] P. Hansen, N. Mladenovic, J.A. Moreno. Búsqueda de Entorno Variable. Inteligencia Artificial 19 (2003) 77-92**

**[Res03] M.G.C. Resende, J.L. González, GRASP: Procedimientos de Búsqueda Miopes, aleatorizados y adaptativos. Inteligencia Artificial 19 (2003) 61-76**

[Fep95] T.A. Feo, M.G.C. Resende. Greedy Randomized Adaptive Search Procedures. Journal of Global Optimization 6 (1995) 109-133

[Stu98] T. Stützle, 1998. Local Search Algorithms for Combinatorial Problems-Analysis, Improvements and New Applications. PhD Thesis, Darmstadt, University of Technology, Department of Computer Science

[Mla97] N. Mladenovic, P. Hansen. Variable Neighborhood Search. Computers and Operations Research 24(11) (1997) 1097-1100

# Motivación

- La búsqueda local suele caer en óptimos locales, que a veces están bastante alejados del óptimo global del problema
- ¿Cómo salir de estos óptimos locales?
- Movimientos empeoramiento
- Modificar las estructuras de entorno
- Volver a comenzar la búsqueda desde otra solución inicial

# Índice

1. Introducción a la búsqueda multiarranque
2. Algoritmos básicos
3. Modelos multiarranque
4. Algoritmo GRASP
5. Algoritmo ILS
6. Algoritmo VNS

# Introducción a la búsqueda multiarranque

Una Búsqueda con Arranque Múltiple es un algoritmo de búsqueda global que itera las dos etapas siguientes:

- **Generación de una solución inicial:** Se genera una solución  $S$  de la región factible
- **Búsqueda Local:** Se aplica una BL desde  $S$  para obtener una solución optimizada  $S'$

**Estos pasos se repiten hasta que se satisfaga algún criterio de parada**



## Introducción a la búsqueda multiarranque

- Se devuelve como salida del algoritmo la solución  $S'$  que mejor valor de la función objetivo presente
- La **Búsqueda Multiarranque Básica** se caracteriza porque las soluciones iniciales se generan de forma aleatoria

# Introducción a la búsqueda multiarranque

## COMIENZO

Sact  $\leftarrow$  Genera Solución ( )

Mejor\_Solución  $\leftarrow$  Sact

## REPETIR

S'  $\leftarrow$  Búsqueda Local (Sact)

**SI** S' es mejor que Mejor\_Solución **ENTONCES**

Mejor\_Solución  $\leftarrow$  S'

Sact  $\leftarrow$  Genera Solución ( )

**HASTA** (**criterio de parada**)

Devolver Mejor\_Solución

## FIN



# Introducción a la búsqueda multiarranque

# COMIENZO

Sact ← Genera Solución ( )

Mejor Solución  $\leftarrow$  Sact

# REPETIR

$S' \leftarrow \text{Búsqueda Local (Sact)}$

**SI**  $S'$  es mejor que Mejor\_Solución **ENTONCES**

Mejor Solución  $\leftarrow S'$

Sact  $\leftarrow$  Genera Solución ( )

## HASTA (criterio de parada)

## Devolver Mejor Solución

# FIN



# Introducción a la búsqueda multiarranque

## COMIENZO

Sact  $\leftarrow$  Genera Solución ()

Mejor\_Solución  $\leftarrow$  Sact

## REPETIR

S'  $\leftarrow$  Búsqueda Local (Sact)

**SI** S' es mejor que Mejor\_Solución **ENTONCES**

Mejor\_Solución  $\leftarrow$  S'

Sact  $\leftarrow$  Genera Solución ()

**HASTA** (criterio de parada)

Devolver Mejor\_Solución

## FIN

Etapa 2

Etapa 1

# Introducción a la búsqueda multiarranque

## ETAPA 1

En algunas aplicaciones, la Etapa 1 se limita a la simple generación aleatoria de las soluciones

En otros modelos se emplean sofisticados métodos de construcción que consideran las características del problema de optimización para obtener soluciones iniciales de calidad



# Introducción a la búsqueda multiarranque

## ETAPA 2

Se puede emplear una **búsqueda local básica**, o **procedimientos de búsqueda basados en trayectorias más sofisticados**

# Introducción a la búsqueda multiarranque

## Criterio de Parada

Criterios simples, como el de parar después de un número dado de iteraciones, hasta criterios que analizan la evolución de la búsqueda

En muchas de las propuestas que se encuentran en la literatura especializada **se fija un número de iteraciones de la búsqueda local**

## Algoritmo multiarranque básico

El algoritmo multiarranque más básico que podemos considerar es aquel en el que **las soluciones iniciales se generan al azar** en la región factible del problema, y la **etapa de búsqueda se realiza mediante algún procedimiento de búsqueda local**



## Algoritmo multiarranque básico

- Este método converge al óptimo global del problema con probabilidad 1 cuando el número de puntos generados tiende a infinito
- El procedimiento es **muy ineficiente** puesto que se pueden generar muchos puntos cercanos entre sí, de modo que al aplicarles el procedimiento de búsqueda BL se obtenga repetidamente el mismo óptimo local

# Modelos multiarranque

Múltiples propuestas pueden ser consideradas como técnicas multiarranque

# Modelos multiarranque

Múltiples propuestas pueden ser consideradas como técnicas multiarranque

## Constructivos de la solución inicial

- GRASP
- Colonias de hormigas



# Modelos multiarranque

Múltiples propuestas pueden ser consideradas como técnicas multiarranque

## Constructivos de la solución inicial

- GRASP
- Colonias de hormigas

## Iterativos a la solución encontrada

- ILS
- VNS

# Modelos multiarranque

Múltiples propuestas pueden ser consideradas como técnicas multiarranque

## Constructivos o solución inicial

- GRASP
- Colonias de hormigas

## Iterativos a la solución encontrada

- ILS
- VNS

## Hibridaciones exploración y explotación

- Meméticos
- Búsqueda dispersa

# GRASP: Greedy Randomized Adaptive Search Procedures

Un algoritmo GRASP es un método multiarranque, en el que cada iteración consiste en la construcción de una solución greedy aleatorizada y la aplicación de una búsqueda local que toma dicha solución como punto inicial de la búsqueda

**T.A. Feo, M.G.C. Resende. Greedy Randomized Adaptive Search Procedures.  
Journal of Global Optimization 6 (1995) 109-133**



# GRASP: Greedy Randomized Adaptive Search Procedures

Este procedimiento se repite varias veces y la mejor solución encontrada sobre todas las iteraciones GRASP se devuelve como salida del algoritmo

**Procedimiento Iterativo**  
**Greedy-Aleatorizado-Adaptativo**  
**Búsqueda Local**

**T.A. Feo, M.G.C. Resende. Greedy Randomized Adaptive Search Procedures.  
Journal of Global Optimization 6 (1995) 109-133**

# GRASP: Greedy Randomized Adaptive Search Procedures

## Procedimiento GRASP

**REPETIR MIENTRAS** (no criterio de parada)

$S \leftarrow$  Construcción Solución Greedy Aleatorizada

$S' \leftarrow$  Búsqueda Local ( $S$ )

Actualizar ( $S'$ , Mejor\_Solución)

Devolver (Mejor\_Solución)

**FIN-GRASP**

# GRASP: Greedy Randomized Adaptive Search Procedures



# GRASP: Greedy Randomized Adaptive Search Procedures

## Construcción Greedy Aleatorizada

- Utiliza una lista restringida de candidatos (LRC)
- Selección aleatoria
- Adaptación de la función de selección

## Búsqueda Local

- Podríamos utilizar una búsqueda local sencilla o más sofisticados
- LRC nos aportan diversidad mejorando a la búsqueda local



## ILS: Iterative Local Search

- La ILS está basada en la aplicación repetida de un algoritmo de Búsqueda Local a una solución inicial que se obtiene por mutación de un óptimo local previamente encontrado
- Los componentes principales son: solución inicial aleatoria, mutación, búsqueda local y parada
- **T. Stützle, 1998. Local Search Algorithms for Combinatorial Problems- Analysis, Improvements and New Applications. PhD Thesis, Darmstadt, University of Technology, Department of Computer Science**

# ILS: Iterative Local Search

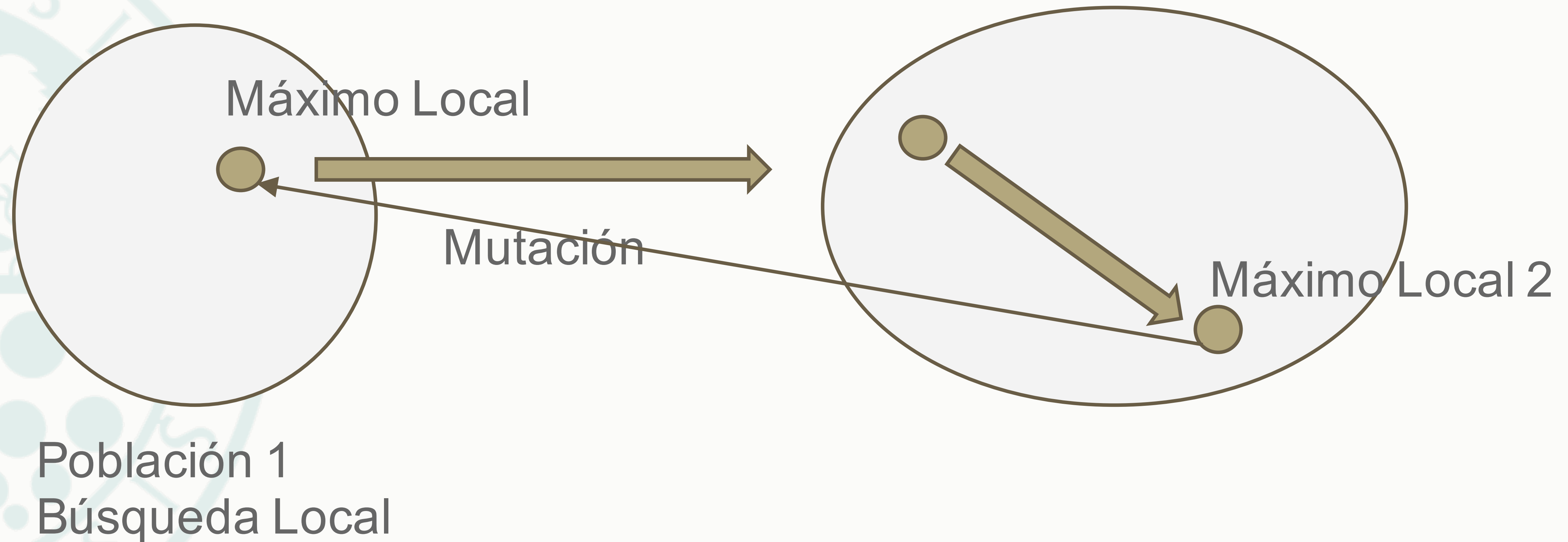
- La ILS está basada en la aplicación repetida de un algoritmo de Búsqueda Local a una solución inicial que se obtiene por

- **T. Stützle, 1998. Local Search Algorithms for Combinatorial Problems-Analysis, Improvements and New Applications. PhD Thesis, Darmstadt, University of Technology, Department of Computer Science**

mutación, búsqueda local y parada

- **H.R. Lourenço, O.C. Martin, T. Stützle, Iterated Local Search. En: F.Glover, G. Kochenberger (Eds.), Handbook of Metaheuristics. Kluwer Academic Publishers, 2003, pp. 321-353.**
- **H.H. Hoos, T. Stützle. Stochastic Local Search. Morgan Kaufmann, 2004.**

# ILS: Iterative Local Search



## VNS: Variable Neighborhood Search

La Búsqueda de Entorno Variable (VNS) es una metaheurística para resolver problemas de optimización cuya idea básica es el cambio sistemático de entorno dentro de una búsqueda local (aumentando el tamaño cuando la búsqueda no avanza)

- **N. Mladenovic, P. Hansen, Variable Neighborhood Search. Computers & Operations Research 24:11 (1997) 1097-1100**



# VNS: Variable Neighborhood Search

Se basa en tres hechos:

- Un mínimo local con una estructura de entornos no lo es necesariamente con otra
- Un mínimo global es mínimo local con todas las posibles estructuras de entornos
- Para muchos problemas, los mínimos locales con la misma o distinta estructura de entorno están relativamente cerca

- **N. Mladenovic, P. Hansen, Variable Neighborhood Search. Computers & Operations Research 24:11 (1997) 1097-1100**

# VNS: Variable Neighborhood Search

Entornos

Crazy

Addition

# VNS: Variable Neighborhood Search

Entornos

Crazy

Addition

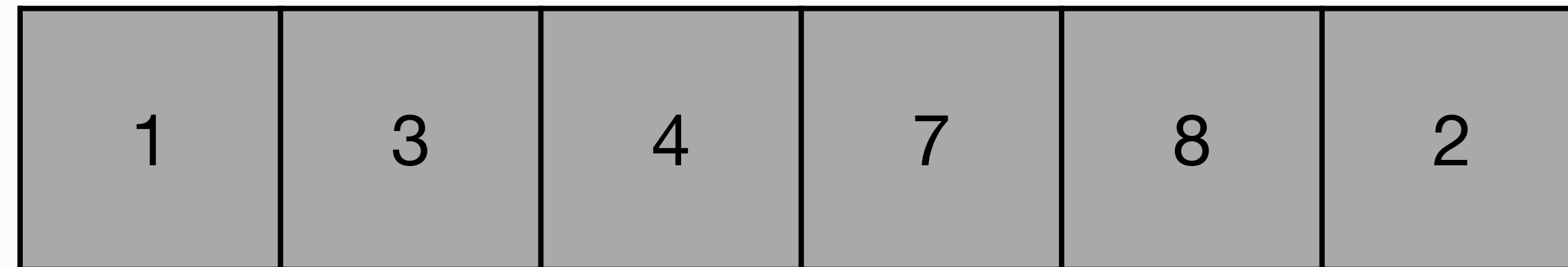
1	3	4	7	8	2
---	---	---	---	---	---

# VNS: Variable Neighborhood Search

Entornos

Crazy

Addition



$$+k \bmod n$$



# VNS: Variable Neighborhood Search

Entornos

Crazy

Addition

1	3	4	7	8	2
---	---	---	---	---	---

$$+k \bmod n$$

$$n = 10$$

# VNS: Variable Neighborhood Search

Entornos

Crazy

Addition

1	3	4	7	8	2
---	---	---	---	---	---

$$+k \bmod n$$

$$\begin{aligned} n &= 10 \\ k &= 3 \end{aligned}$$

# VNS: Variable Neighborhood Search

Entornos

Crazy

Addition

1	3	4	7	8	2
---	---	---	---	---	---

$$+k \bmod n$$

4	6	7	0	1	5
---	---	---	---	---	---

$$n = 10$$
$$k = 3$$

# VNS: Variable Neighborhood Search

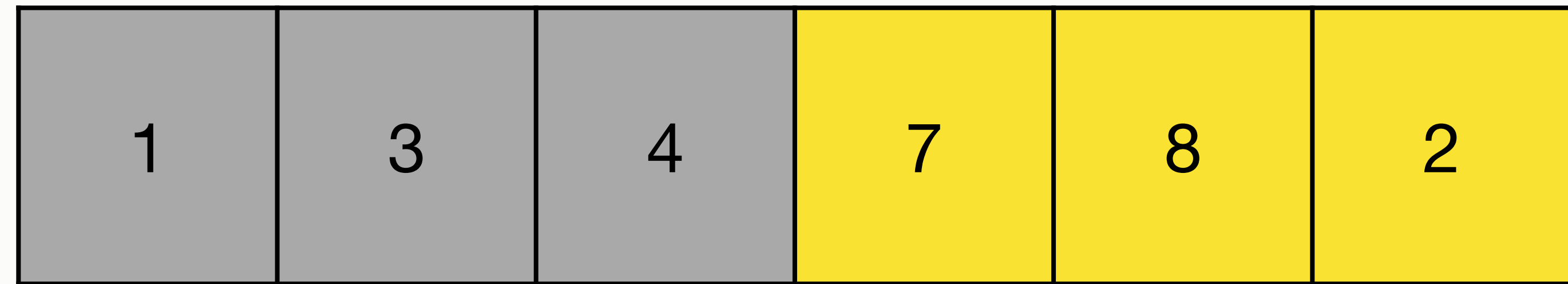
Entornos

Swap



# VNS: Variable Neighborhood Search

Entornos

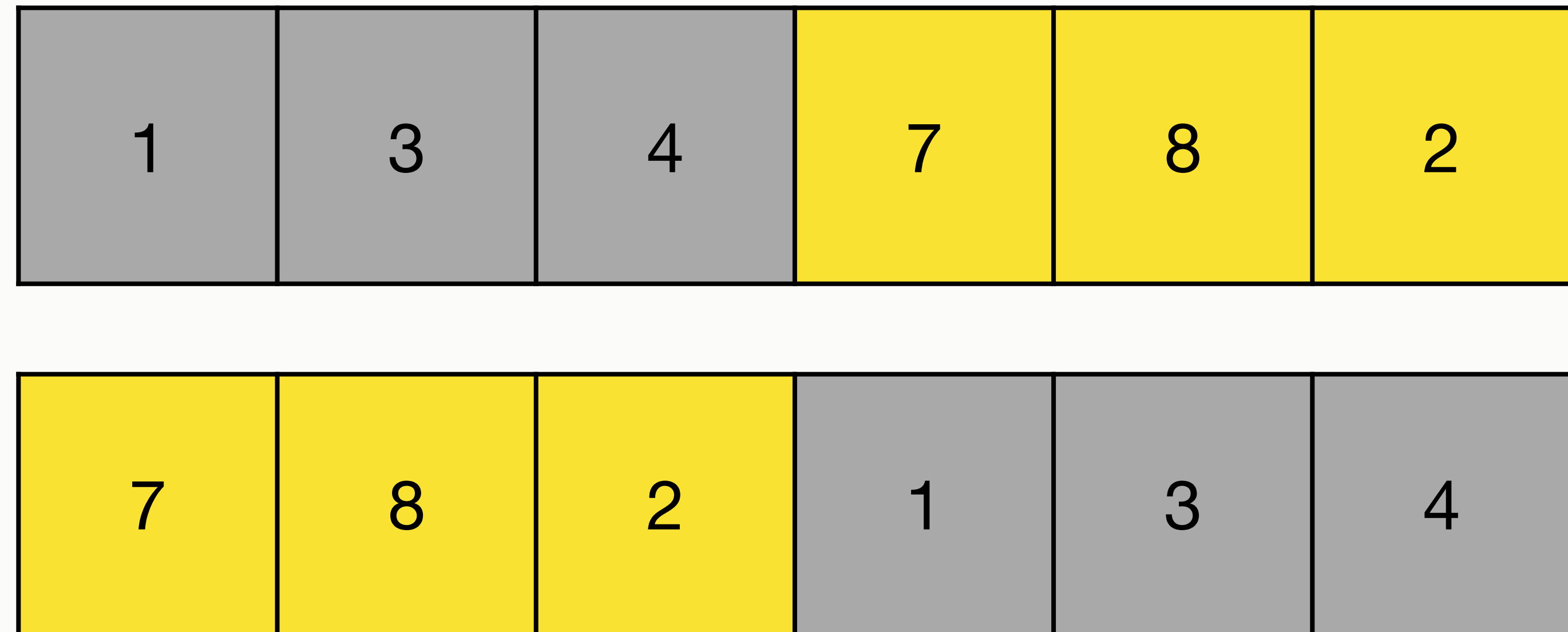


Swap

# VNS: Variable Neighborhood Search

Entornos

Swap



# VNS: Variable Neighborhood Search

Entornos

Inversión  
completa

# VNS: Variable Neighborhood Search

Entornos

1	3	4	7	8	2
---	---	---	---	---	---

Inversión  
completa



# VNS: Variable Neighborhood Search

Entornos

1	3	4	7	8	2
---	---	---	---	---	---

Inversión  
completa

2	8	7	4	3	1
---	---	---	---	---	---

# VNS: Variable Neighborhood Search

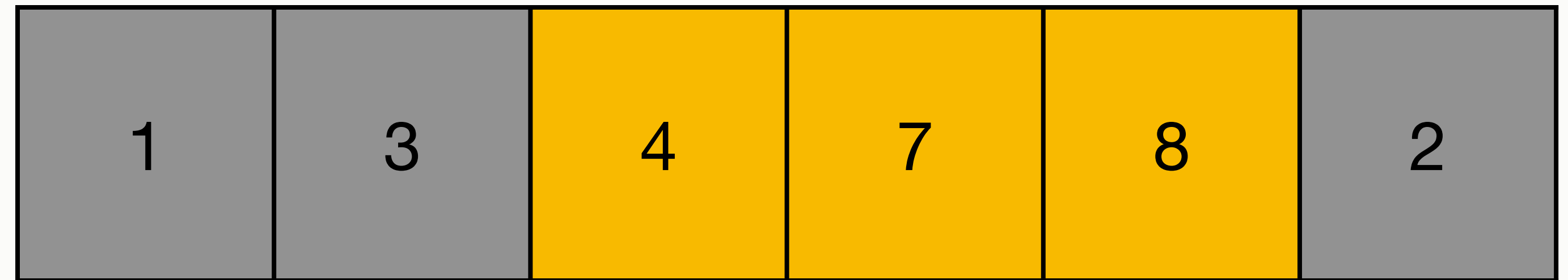
Entornos

Swap List

Inversión parcial

# VNS: Variable Neighborhood Search

Entornos



Swap List

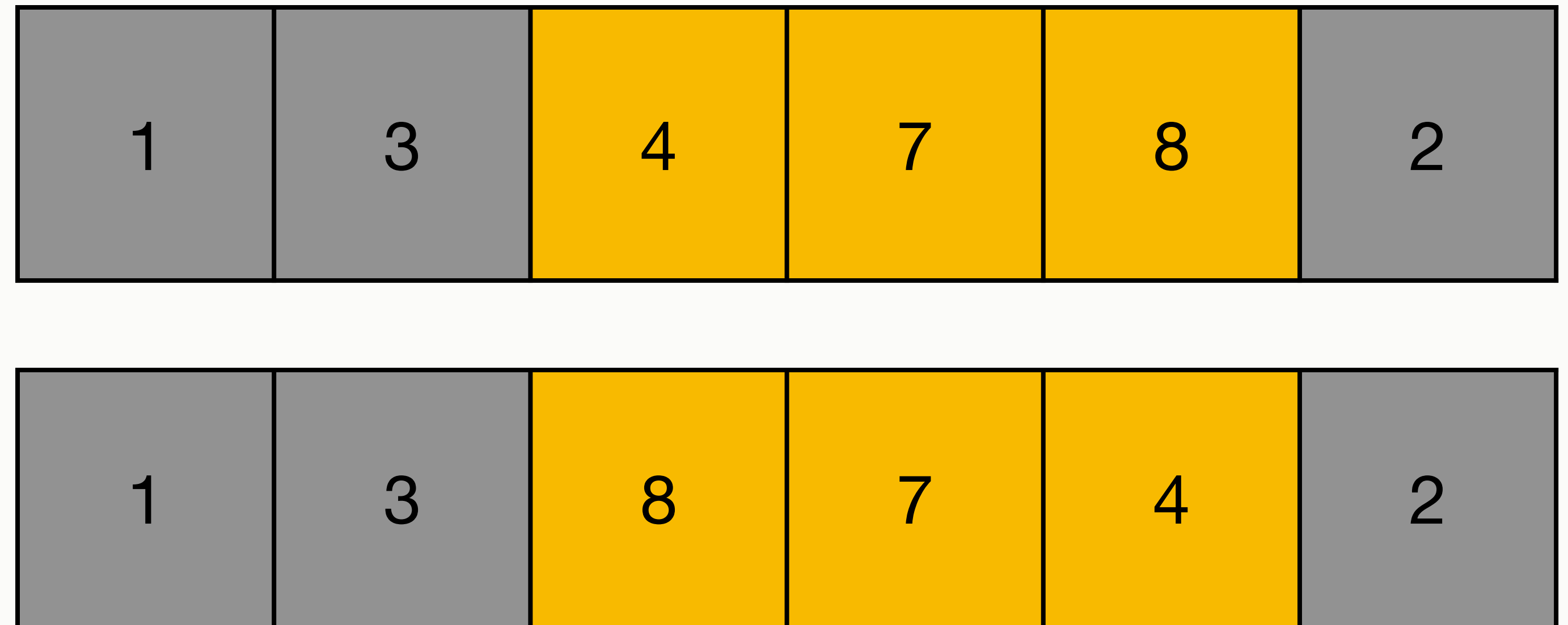
Inversión parcial

# VNS: Variable Neighborhood Search

Entornos

Swap List

Inversión parcial

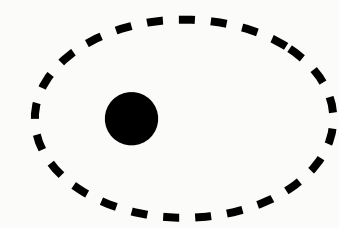




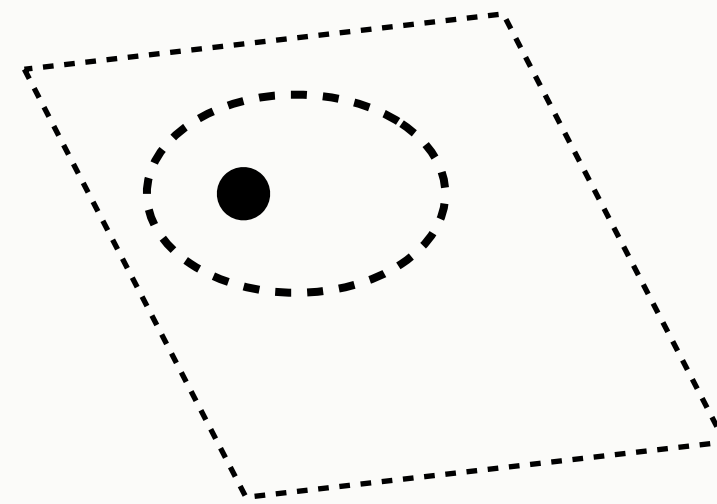
# VNS: Variable Neighborhood Search



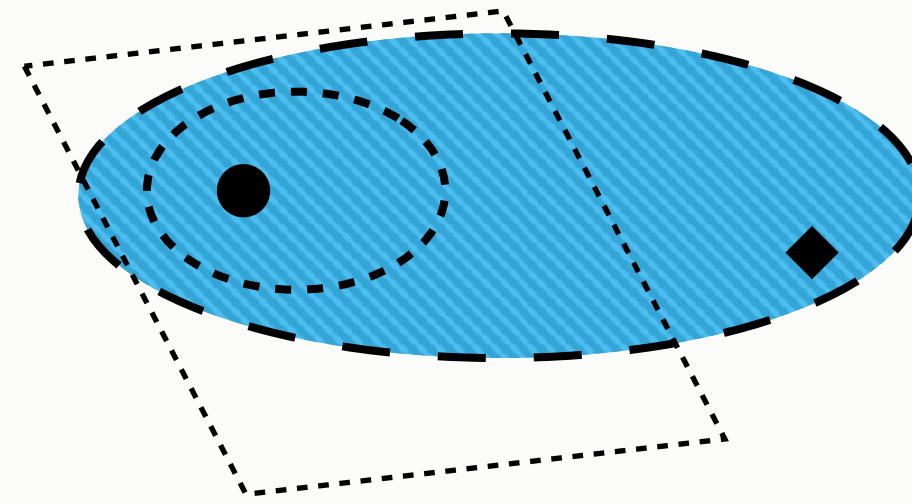
# VNS: Variable Neighborhood Search



# VNS: Variable Neighborhood Search

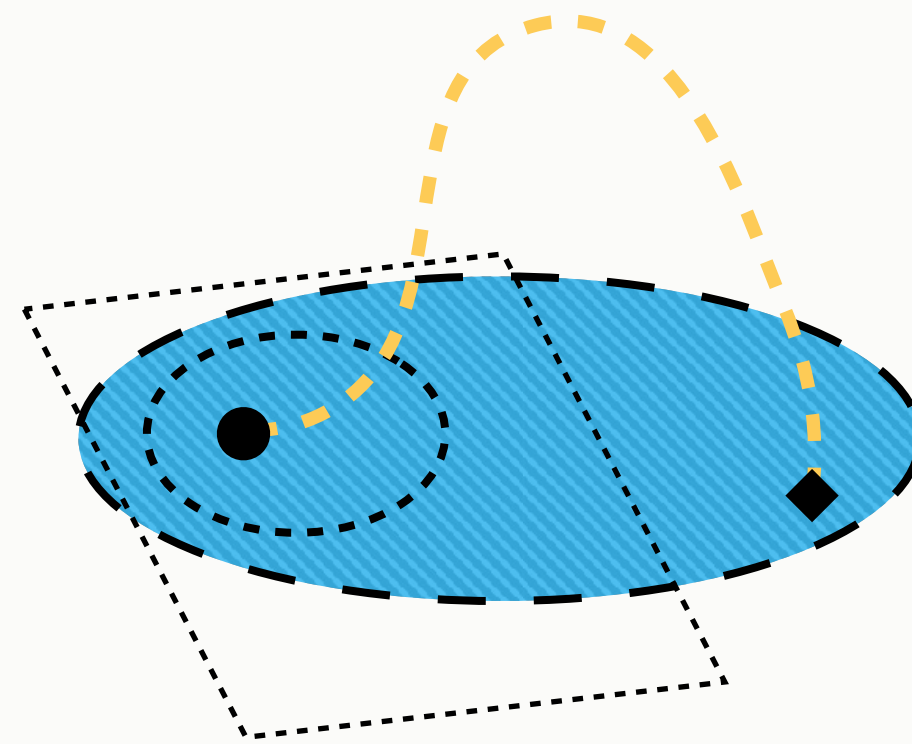


# VNS: Variable Neighborhood Search

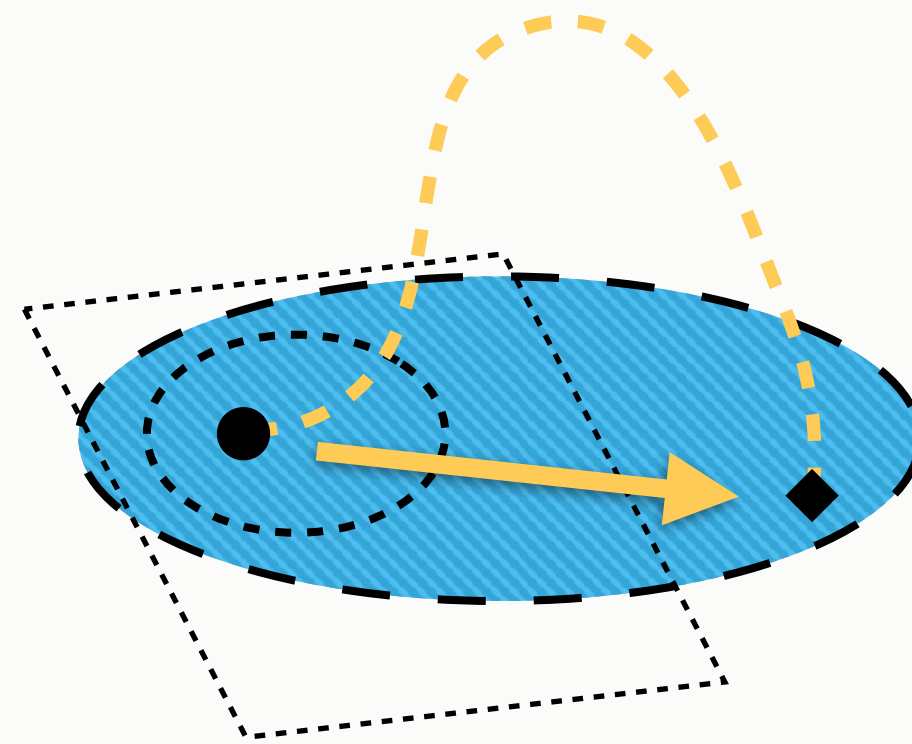




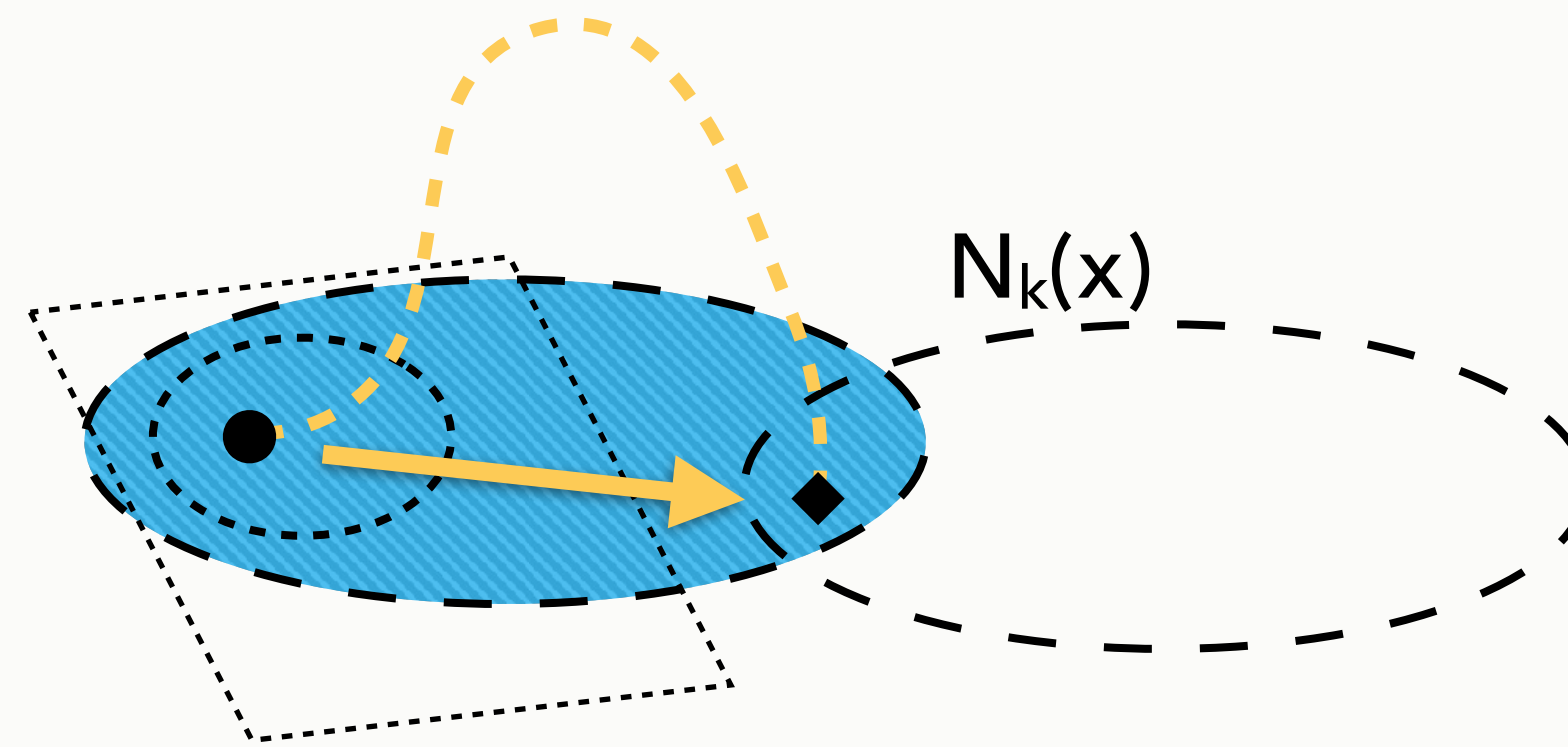
# VNS: Variable Neighborhood Search



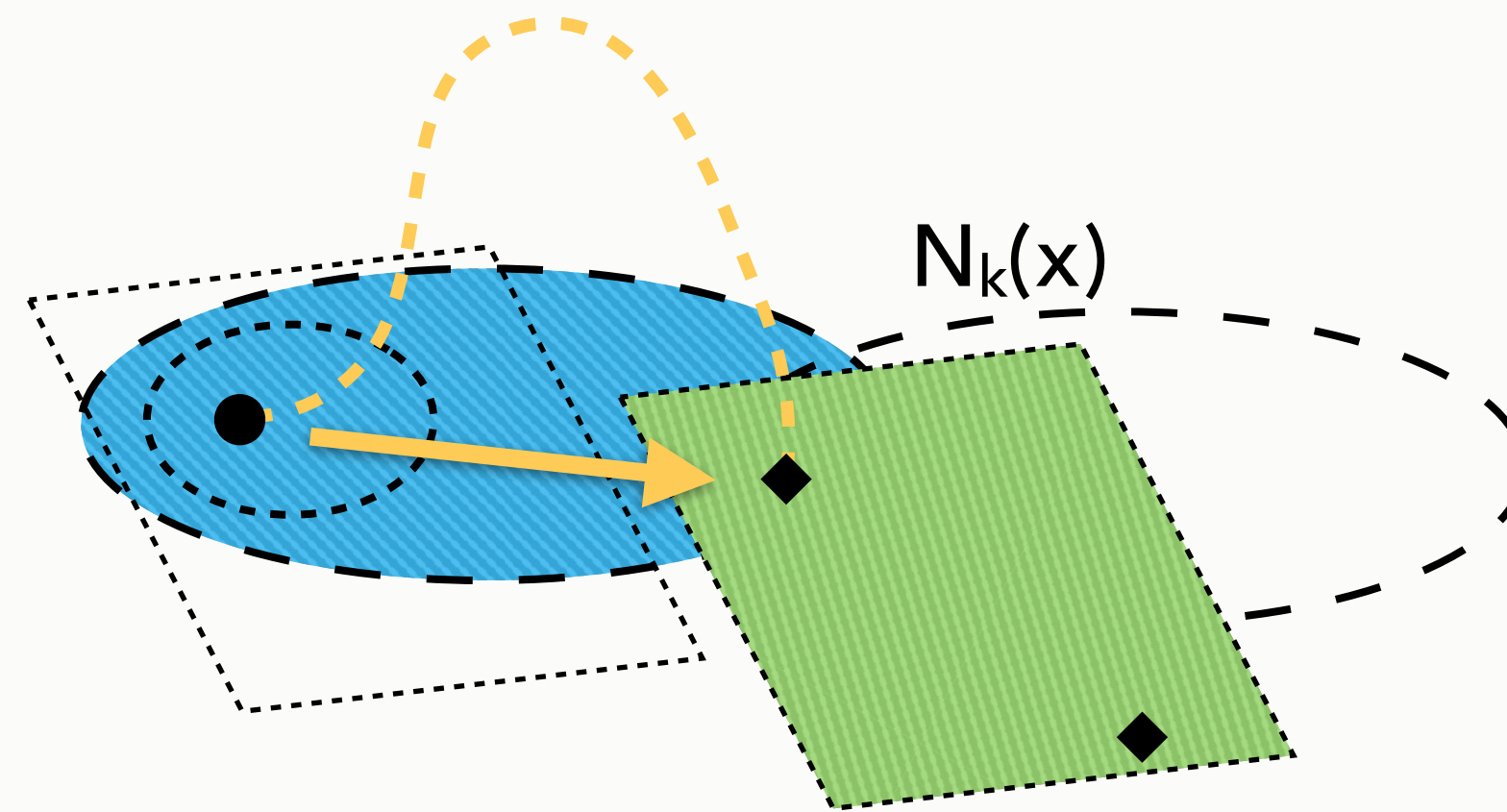
# VNS: Variable Neighborhood Search



# VNS: Variable Neighborhood Search

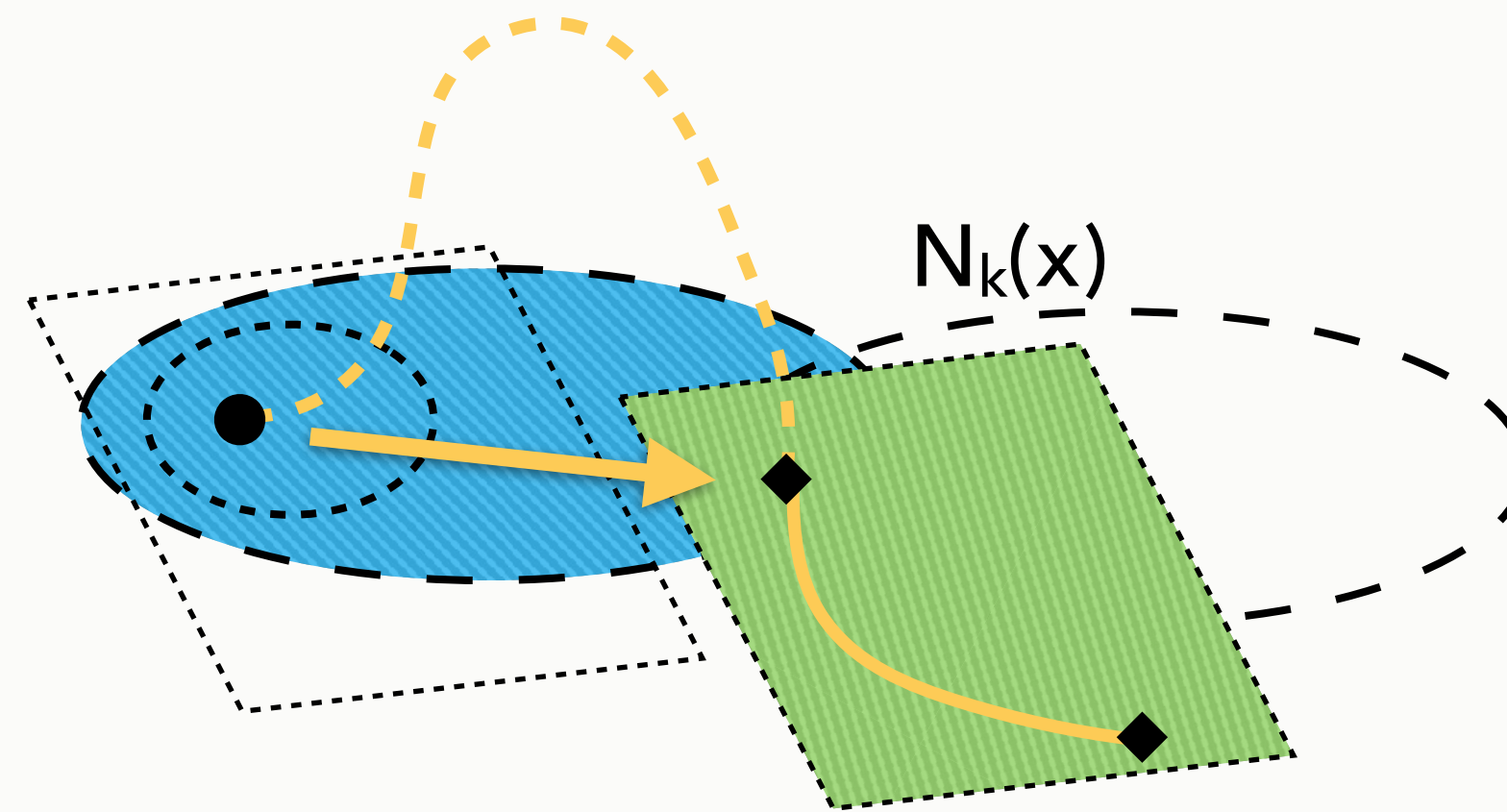


# VNS: Variable Neighborhood Search

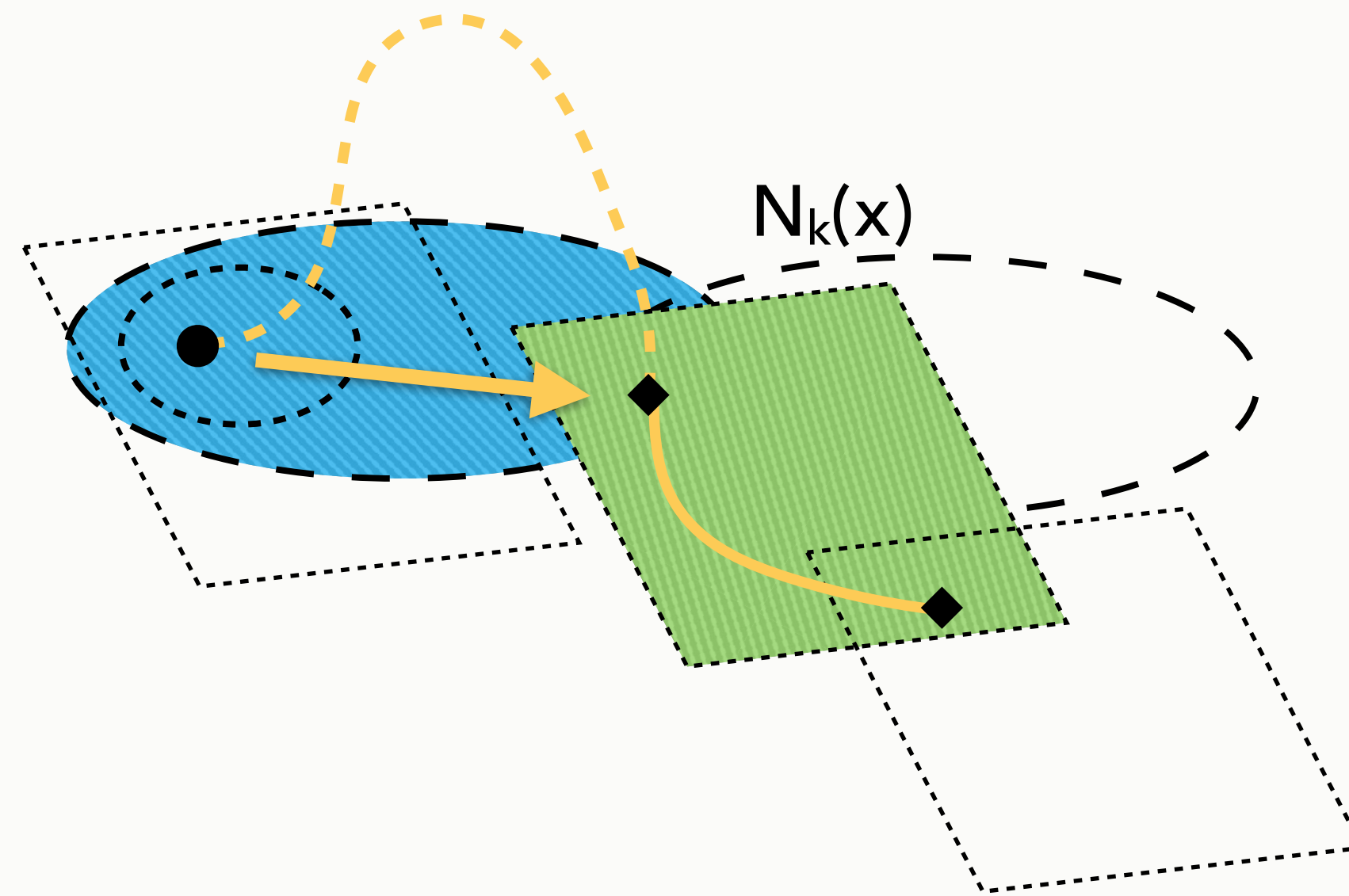




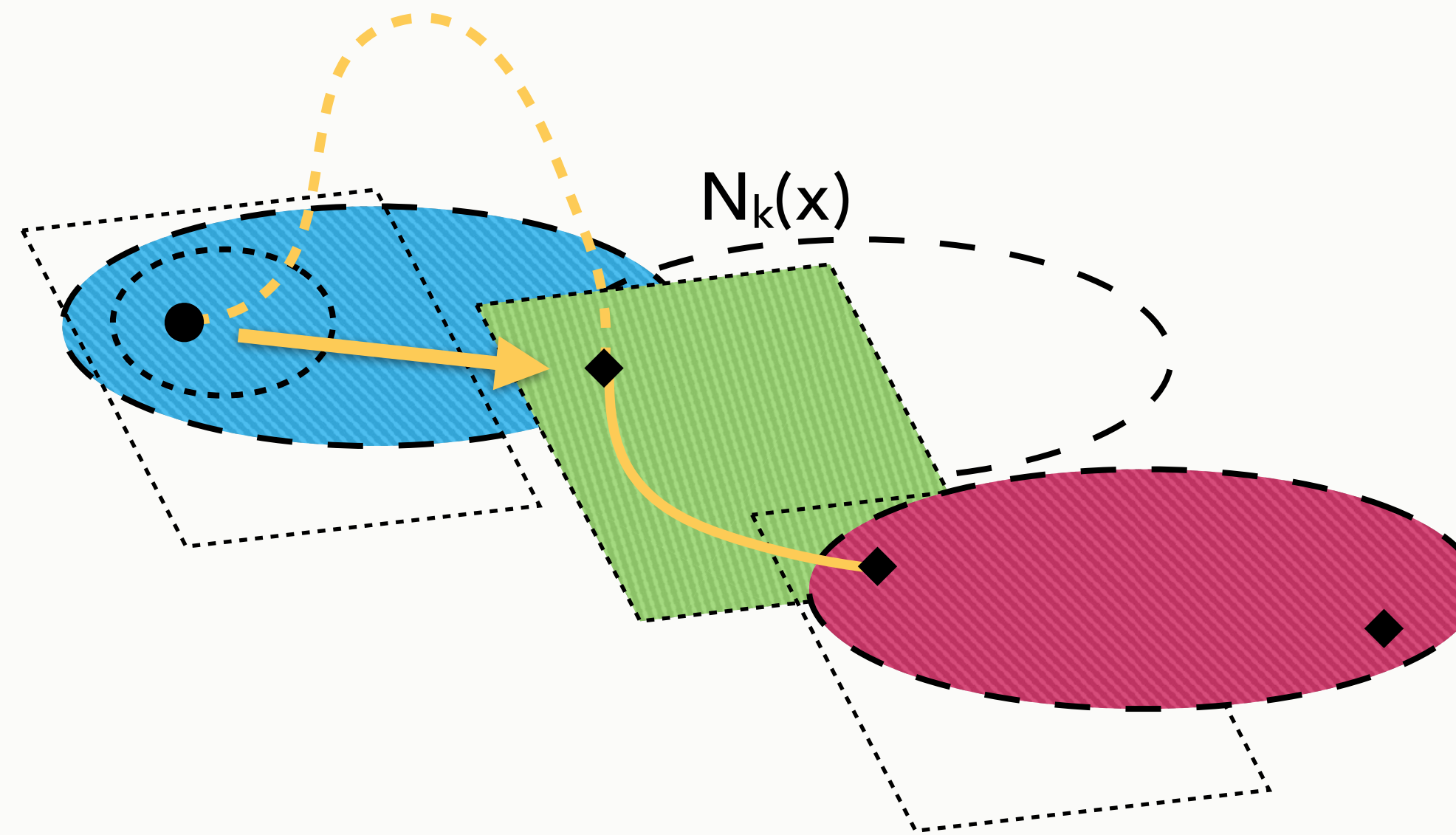
# VNS: Variable Neighborhood Search



# VNS: Variable Neighborhood Search

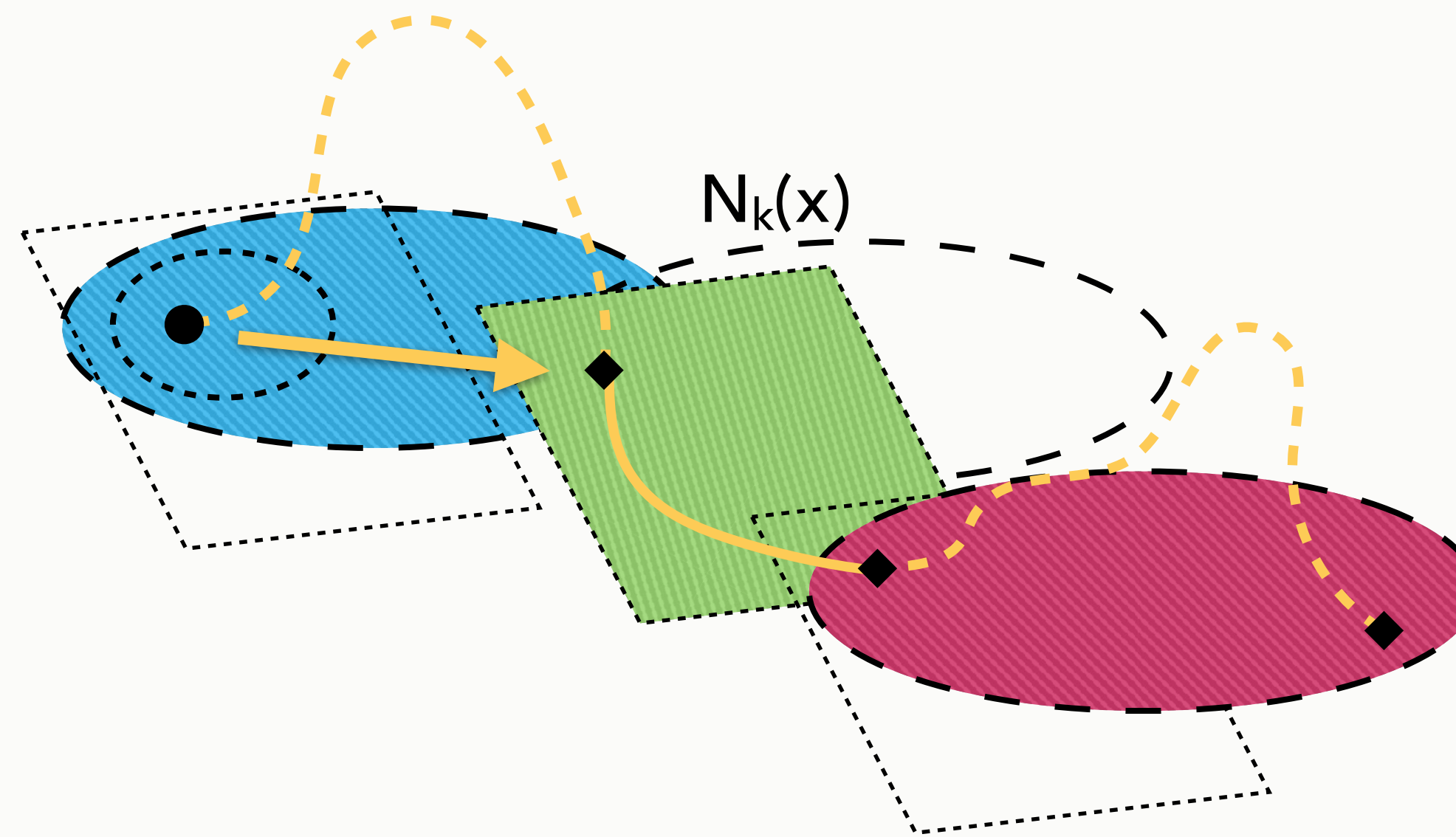


# VNS: Variable Neighborhood Search

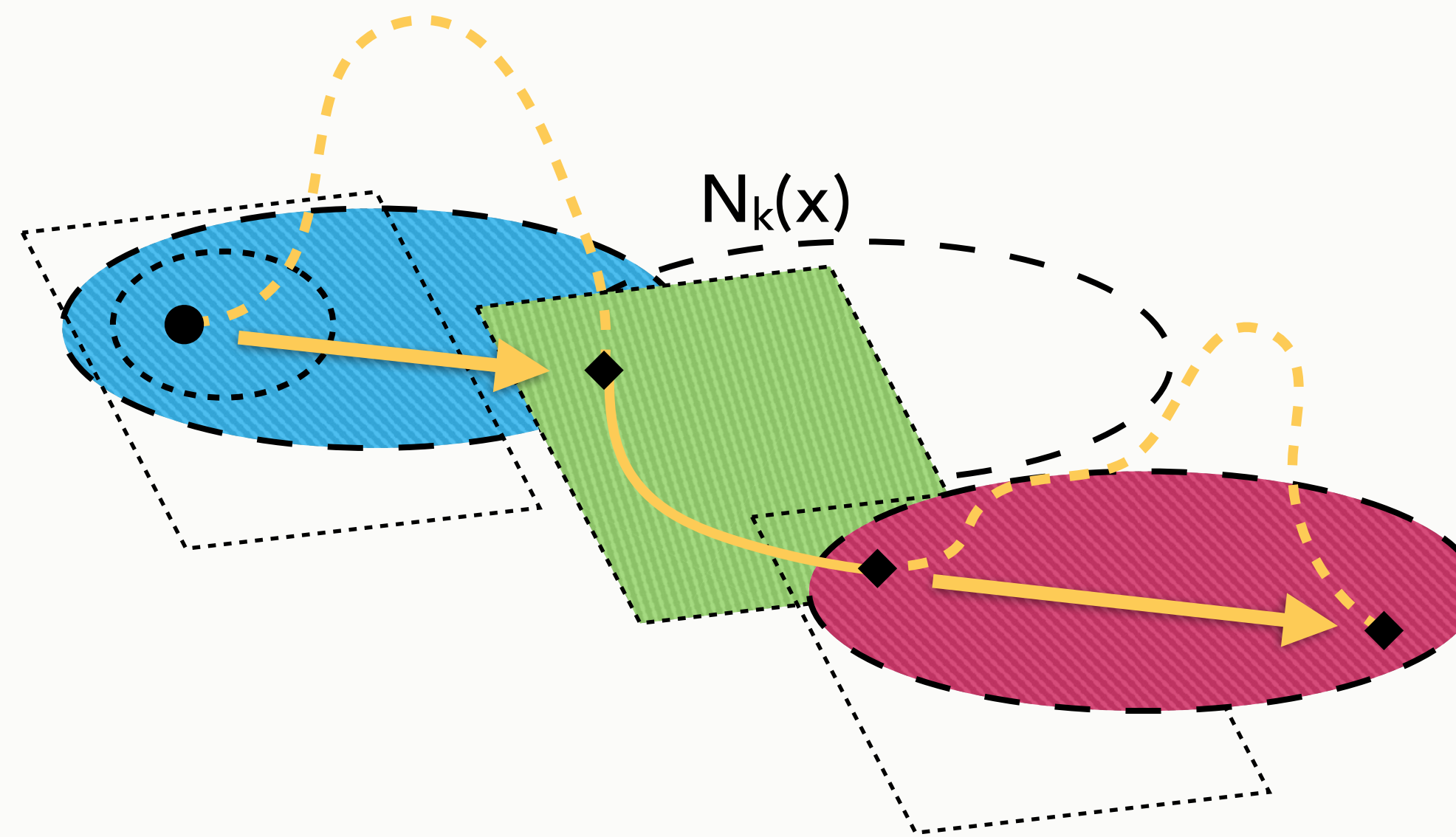




# VNS: Variable Neighborhood Search

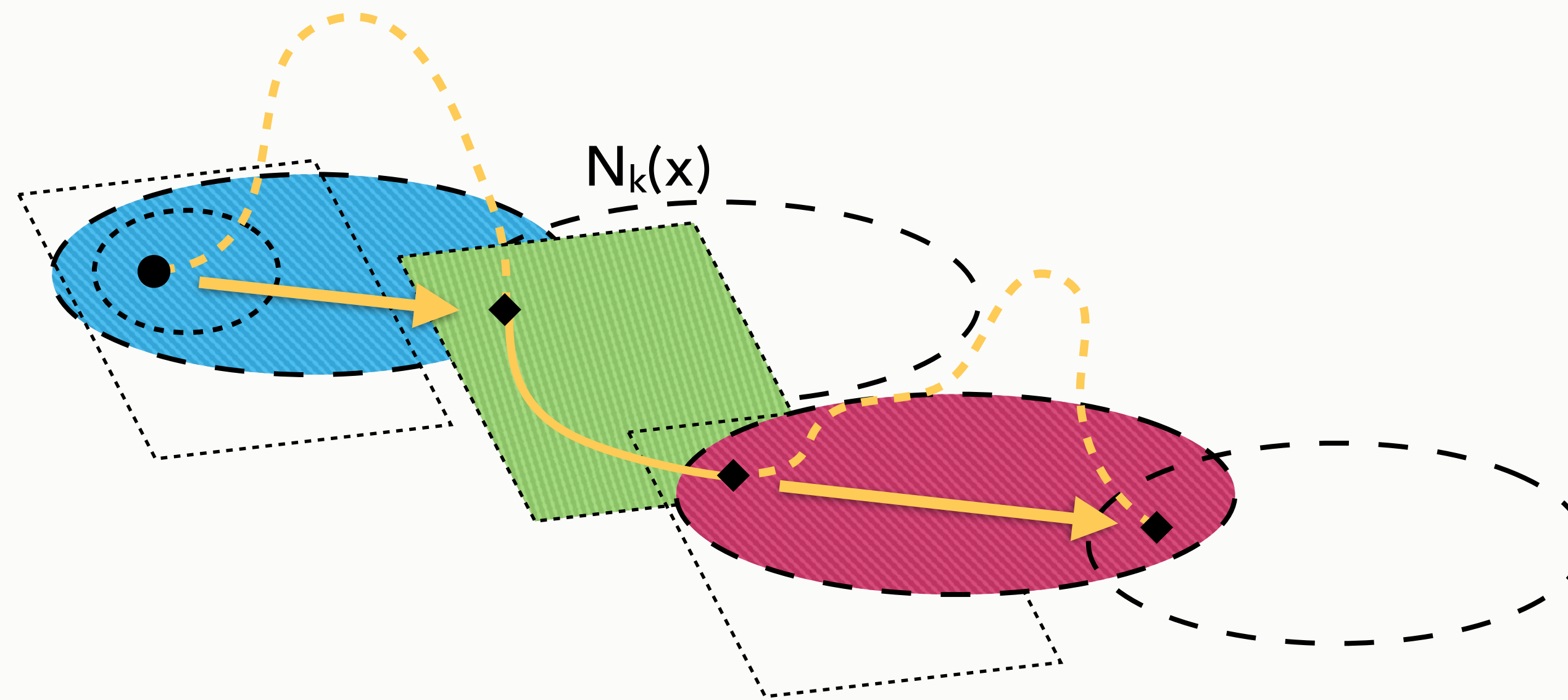


# VNS: Variable Neighborhood Search

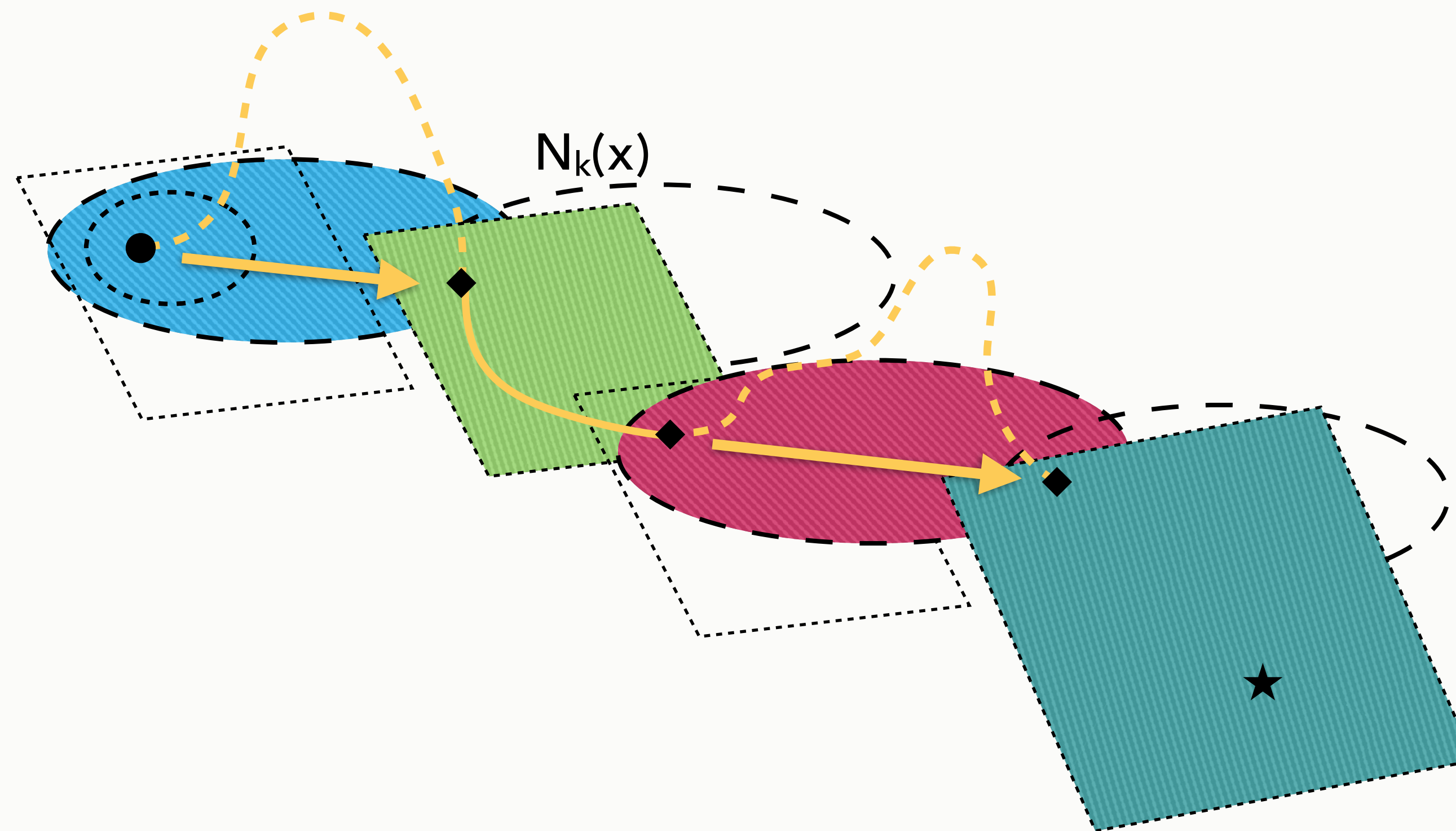




# VNS: Variable Neighborhood Search

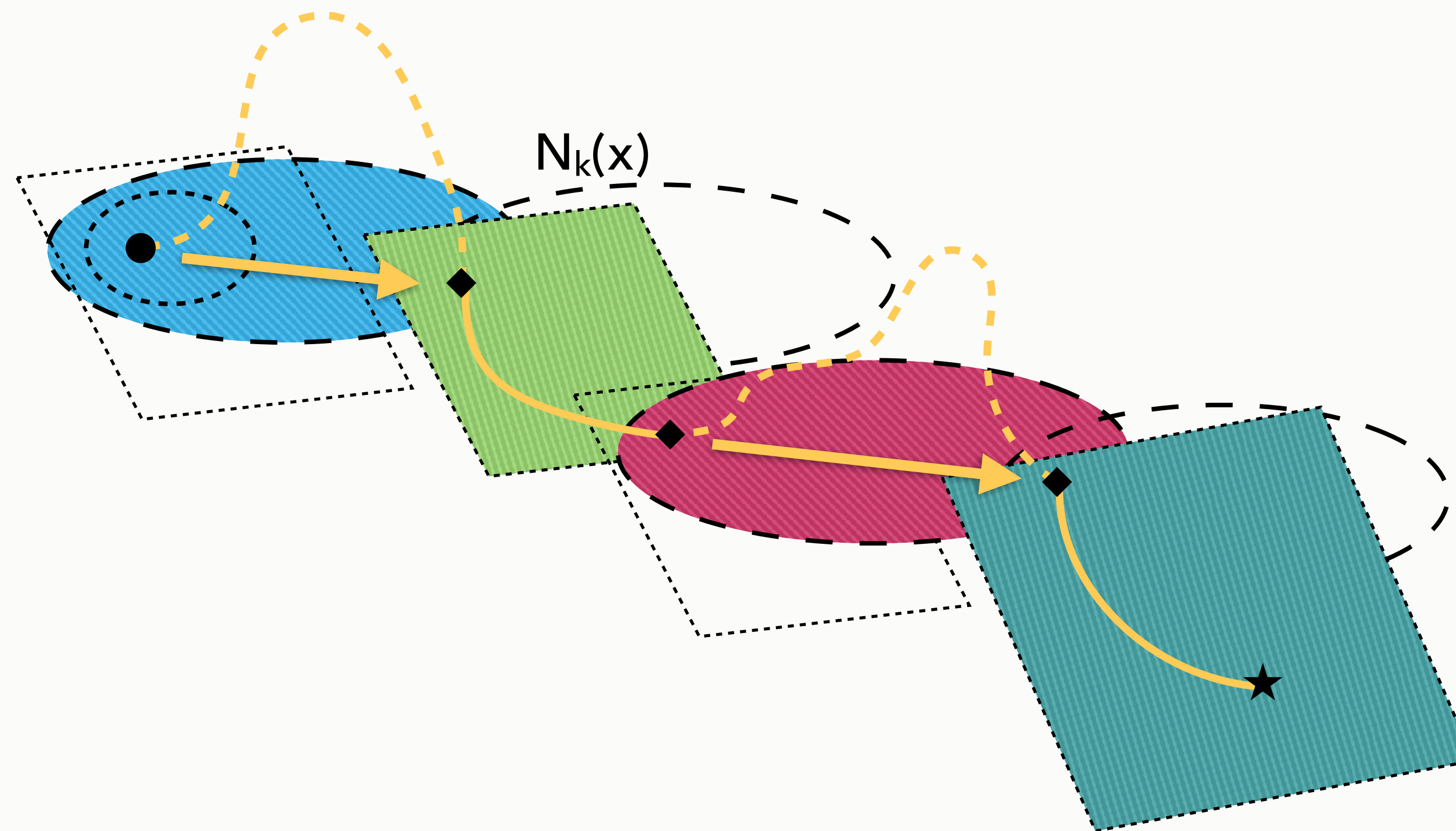


# VNS: Variable Neighborhood Search

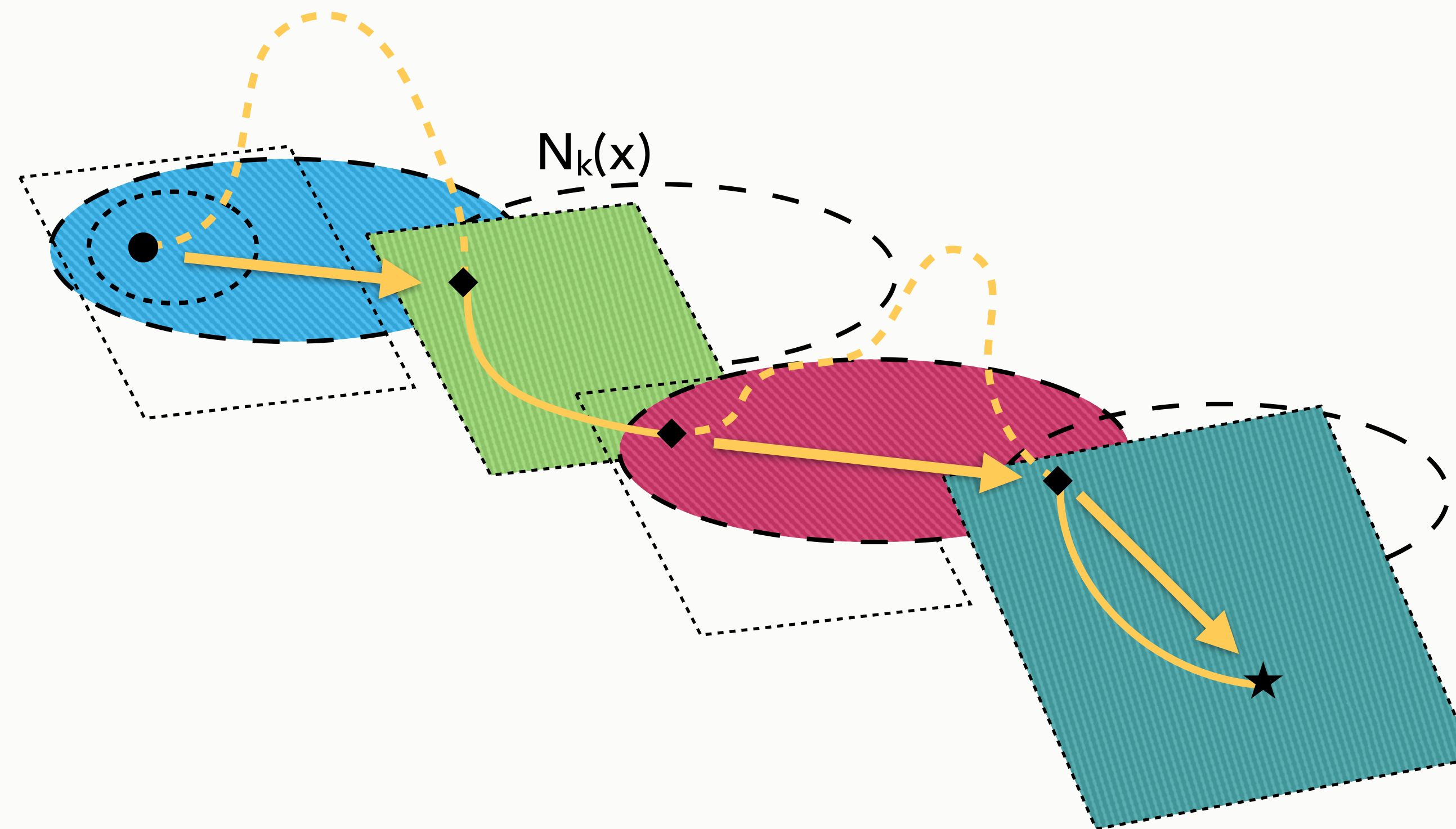




# VNS: Variable Neighborhood Search

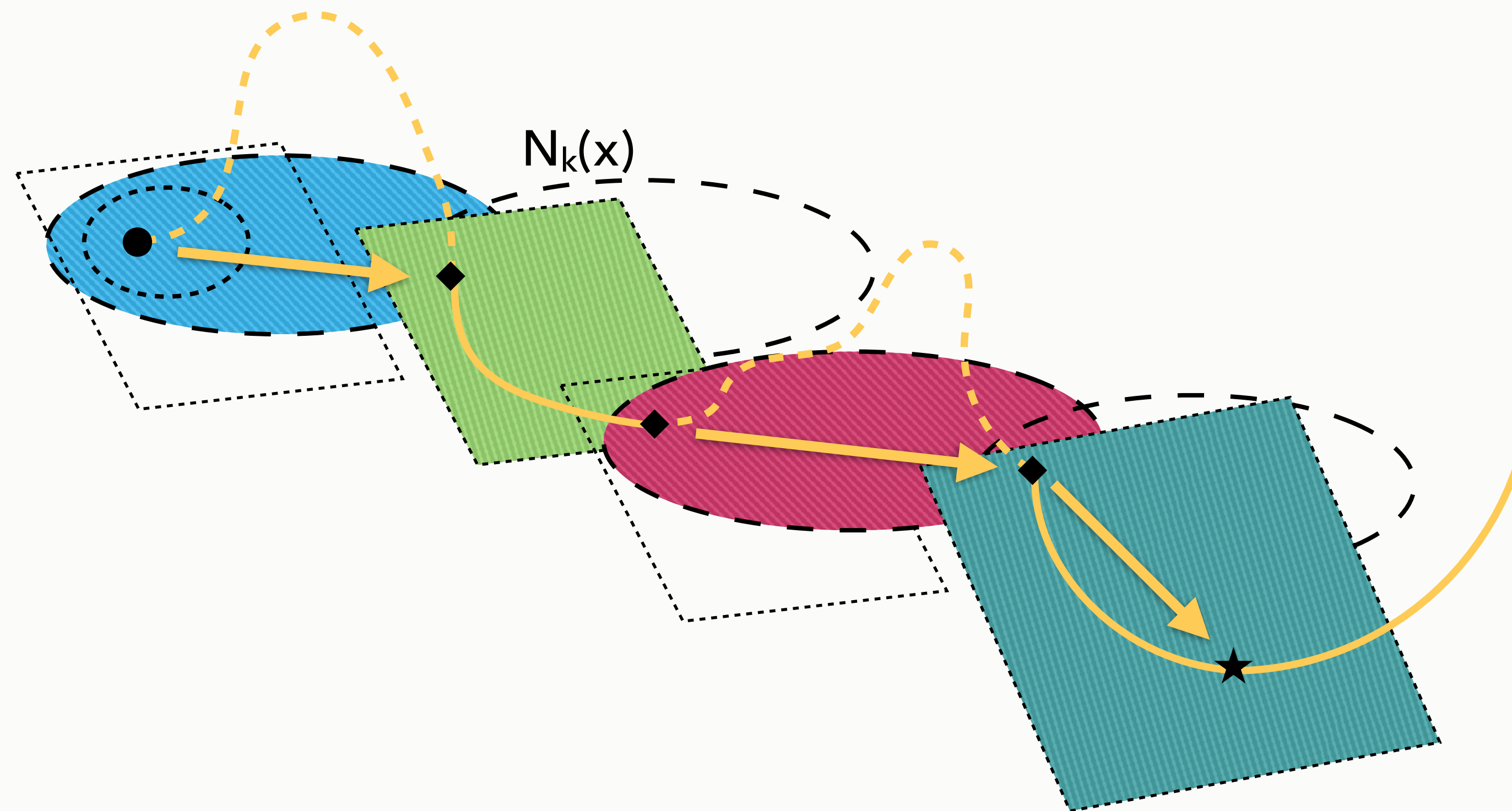


# VNS: Variable Neighborhood Search





# VNS: Variable Neighborhood Search





# Metaheurísticas

## Grado en Ingeniería Informática

### Universidad de Jaén

### Cristóbal J. Carmona

### Curso 2023/2024

Esta obra está protegida con licencia  
Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0 Internacional

